



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A**  
**ROBOTIKY**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND  
ROBOTICS

# **SYSTÉMY AUTOMATICKÉ VÝMĚNY NÁSTROJŮ VE STAVBĚ OBRÁBĚCÍCH CENTER**

AUTOMATIC TOOL CHANGE SYSTEMS IN CONSTRUCTION OF MACHINING CENTERS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**DALIBOR LABOUNEK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**DOC. ING. PETR BLECHA, PH.D.**







Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2012/13

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Dalibor Labounek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

**Systémy automatické výměny nástrojů ve stavbě obráběcích center**

v anglickém jazyce:

**Automatic tool change systems in construction of machining centers**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student provede rešerši, popis a uspořádání systémů automatické výměny nástrojů ve stavbě obráběcích center. Připraví přehled základních výpočtů potřebných pro konstrukční návrh manipulátoru výměny nástrojů.

Provede výpočtový návrh manipulátoru výměny nástrojů.

Cíle bakalářské práce:

Provést rešerši systémů automatické výměny nástrojů používaných ve stavbě obráběcích strojů.

Provést popis a rozřídění systémů automatické výměny nástrojů používaných ve stavbě obráběcích strojů.

Sestavit přehled základních výpočtů potřebných pro návrh vybraného typu systému automatické výměny nástrojů.

Seznam odborné literatury:

Marek, J.; Konstrukce CNC obráběcích strojů, ISSN 1212-2572

Borský, V.; Obráběcí stroje, ISBN 80-214-0470-1

Borský, V.; Základy stavby obráběcích strojů, VUT v Brně

Breník, Píč a kol.; Obráběcí stroje - konstrukce a výpočty, Technický průvodce 59, SNTL Praha 1982

www stránky výrobců systémů AVN

www.mmspektrum.com

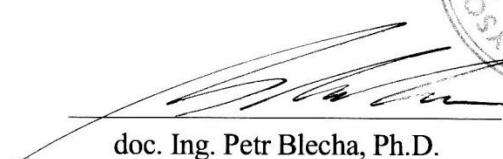
www.infozdroje.cz



www.infozdroje.cz

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 22.11.2012


  
doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
Ředitel ústavu

  
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan







	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 9
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

### Abstrakt

Automatizace výměny nástrojů je zásadním faktorem, který ovlivňuje celkovou úroveň automatizace výrobních strojů. Z důvodu použití většího množství nástrojů při obrábění, se systémy automatické výměny nástrojů (dále jen "AVN") řešily jako jedny z prvních otázek. Za pomoci systémů AVN byly minimalizovány vedlejší výrobní časy a zásah obsluhy za současného zvýšení produktivity práce. S tím je rovněž spojena vyšší bezpečnost práce a minimalizace chyby lidského faktoru. Systémy AVN rozšířily možnosti obrábění ve strojním průmyslu, což se kladně projevilo na ceně.

Téma předkládané bakalářské práce se zabývá rozбором problematiky systémů automatické výměny nástrojů ve stavbě obráběcích center.

### Klíčová slova

Automatická výměna nástroje, nosný zásobník, skladovací zásobník, manipulátor, osový moment setrvačnosti

### Abstract

Automation tool change is a major factor that affects the overall level of factory automation machinery. Due to its large number of tools for machining, the system of automatic tool change (hereinafter referred to as "AVN") address one of the first questions. The help of the AVN minimize secondary production times and operator intervention while increasing productivity. With that is also linked to higher safety and minimizing human error. AVN systems expand opportunities working in the engineering industry, which is positively reflected in the price.


The theme of the present thesis deals with the analysis of the problems of automatic tool change in the structure of machining centers.

### Key words

Automatic tool change, carrier tool magazine, storage tool magazine, manipulator, axial moment of inertia

### Bibliografická citace

LABOUNEK, D. *Systémy automatické výměny nástrojů ve stavbě obráběcích center*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 48 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D..

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 10
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## Poděkování

Tímto děkuji doc. Ing. Petru Blechovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

## Prohlášení


Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma systémy automatické výměny nástrojů ve stavbě obráběcích center vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 24.5.2013

.....  
Dalibor Labounek

## Obsah

<b>Úvod</b>	12
<b>1. Automatická výměna nástrojů</b>	13
<b>2. Vývoj konceptu systému AVN</b>	14
2.1. Požadavky na systémy AVN	14
2.2. Morfologie systémů AVN	15
<b>3. Funkce manipulátoru</b>	15
<b>4. Funkce zásobníku a rozdělení</b>	18
4.1. Systémy s nosným zásobníkem	18
4.1.1. Systémy s výměnou jednotlivých nástrojů	18
4.1.2. Systémy s výměnou celých vřeten s nástroji	19
4.1.3. Systémy s výměnou vícevřetenových operačních hlav s nástroji	20
4.2. Systémy se skladovacím zásobníkem	21
4.2.1. Systémy s výměnou jednotlivých nástrojů	22
4.2.2. Systémy s výměnou celých vřeteníků s nástroji	28
4.2.3. Systémy s výměnou vícevřetenových operačních hlav s nástroji	29
4.3. Systémy kombinované	30
<b>5. Upínání a držáky nástrojů</b>	31
5.1. Požadavky na upínání a držáky nástrojů	31
5.2. Držáky s kuželovou upínací plochou	31
5.3. Držáky s válcovou upínací plochou	35
<b>6. Kódování nástrojů v systémech automatické výměny nástrojů</b>	35
6.1. Kódování pozice v zásobníku	36
6.2. Kódování samotného nástroje	36
<b>7. Návrh výpočtu</b>	38
7.1. Substituční model	38
7.2. Vstupní parametry	39
7.3. Výpočet	39
7.3.1. Výpočet osových momentů setrvačnosti	39
7.3.2. Výpočet úhlového zrychlení	42
7.3.3. Výpočet úhlového rychlosti	43
7.3.4. Výpočet kroutícího momentu	43
7.4. Návrh elektromotoru	43
<b>Závěr</b>	44
<b>Seznam použité literatury</b>	45
<b>Seznam obrázků</b>	46
<b>Seznam použitých zkratk a symbolů</b>	47

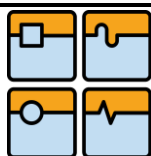
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 12
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## Úvod

Systémy automatické výměny nástrojů (dále jen AVN) výrazně zjednodušily použití obráběcích strojů, a to z důvodu možnosti automaticky řídit komplexní obrábění. Díky AVN byl z dlouhého pracovního cyklu vyloučen zásah lidské obsluhy za účelem zkracování vedlejších výrobních časů, které tak vznikaly, tím došlo ke zvýšení produktivity práce. Systémy AVN tak značně rozšířily možnosti ve strojním průmyslu, což se mimo jiné projevilo i na výsledné ceně obrábění. <sup>[1]</sup>

Automatická výměna nástroje probíhá tak, že dojde k vyjmutí nástroje z vřetena, následně k jeho uložení do zásobníku, vyjmutí nového nástroje ze zásobníku a jeho uložení zpět do vřetena. <sup>[12]</sup>

Předkládaná bakalářská práce pojednává o systémech automatické výměny nástrojů. Práce je rozdělena do dvou částí, a to teoretické a praktické. Teoretická část je zaměřena na rešerši, ve které je obsaženo podrobné rozdělení dané problematiky. Praktická práce se zabývá návrhovým výpočtem manipulátoru.



## 1. Automatická výměna nástrojů

Pod automatickou výměnou nástrojů rozumíme podle profesora Marka „skupinu uzlů pro manipulaci, polohování a upnutí nástrojových jednotek v pracovním vřetenu obráběcího centra, plní v podstatě úkol automatické výměny nástrojů, která patří k nezbytné vlastnosti této kategorie strojů. Je tvořena širokým sortimentem konstrukčních řešení pro možnost volby optimální skladby při daných podmínkách využití.“<sup>[10]</sup>



Obrázek 1 Revolverová hlava soustružnicko-frézovacího centra Mori Seiki [12]

## 2. Vývoj konceptu systému AVN

Počátky automatizace výměny nástrojů byly koncipovány nejdříve pro velkosériovou a hromadnou výrobu, přičemž bylo použito prvních konstrukcí poloautomatických a automatických strojů, které fungovaly na základě vačkového nebo narážkového řízení. Princip výměny nástrojů zde byl řešen automaticky za pomoci revolverové hlavy. Nástroje v revolverové hlavě musely být seřazeny přesně podle sledu obrábění, od prvního úběru až po finální tvar součásti. Počet nástrojů nebyl příliš vysoký, pohyboval se v rozmezí 5-16 nástrojů. Impulz na změnu nástroje byl realizován pootočením revolverové hlavy. Tento impulz přicházel od příslušného paměťového média tvrdé automatizace - narážky upevněné na narážkové liště, narážkovém bubnu nebo narážkovém kotouči na rozvodovém hřídeli stroje. <sup>[3],[5]</sup>

Od 50. let 20. Století dochází k intenzivnímu vývoji různých systémů automatické výměny nástrojů, především ve spojitosti s rozvojem číslicově řízení techniky. Zvyšuje se kapacita AVN, a to na 150 i více nástrojů, dnes i na 500 a více nástrojů v jednom zásobníku. Dále se také zkracují časy výměny nástroje. Výhodou systému je, že nástroje nemusí být v operačním sledu, čímž se zvyšuje pružnost a univerzálnost strojů. Vznikají první obráběcí centra se stroji schopnými na jedno upnutí obrobku automaticky vykonat mnoho operací různými výrobními způsoby například soustružnické, frézovací nebo vrtací. Automatizace se postupně prakticky dostává i do oblasti malosériové a kusové výroby. <sup>[3],[5]</sup>

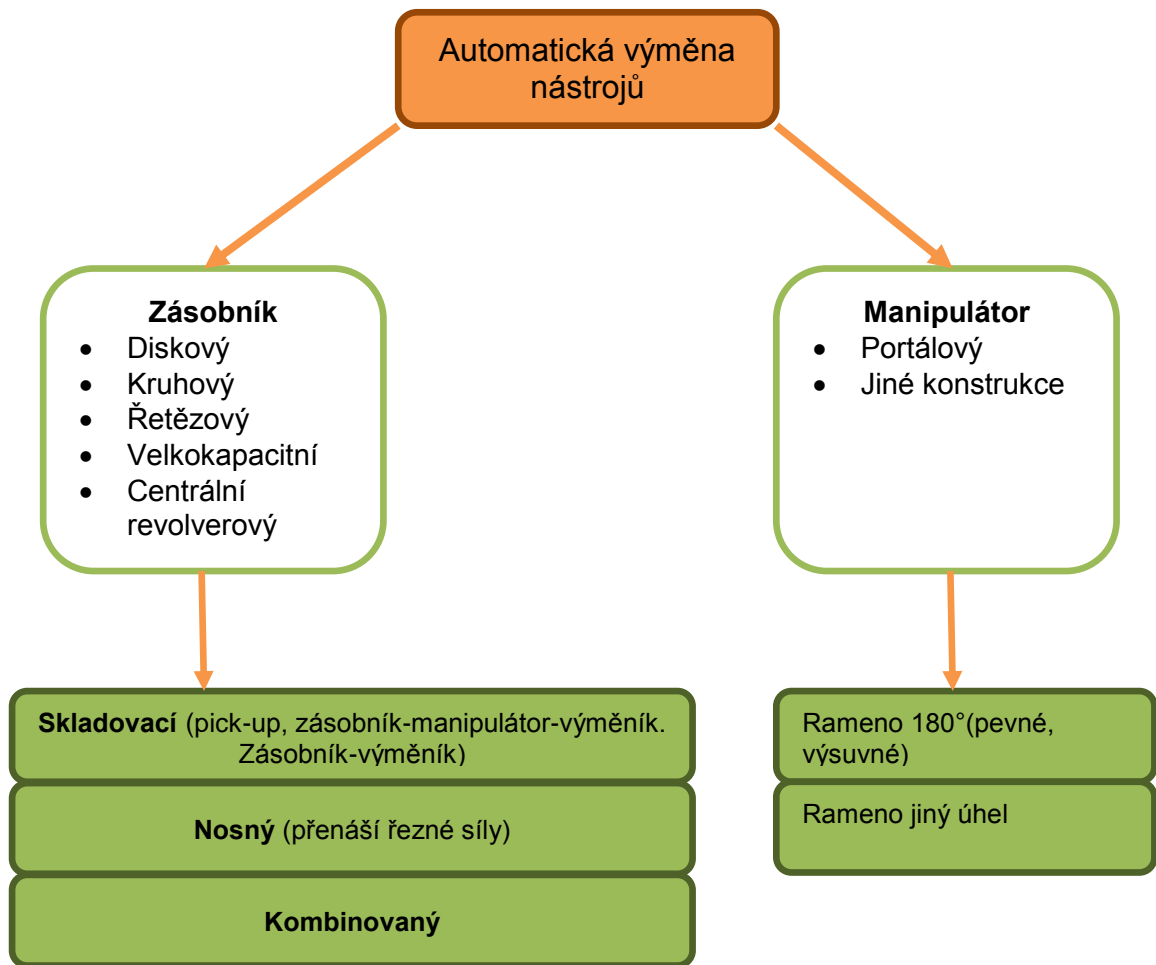
Hlavním přínosem systémů automatické výměny nástrojů u číslicově řízených strojů je možnost komplexně řídit a naprogramovat obrábění celého obrobku na daném stroji. <sup>[5]</sup>

### 2.1. Požadavky na systémy AVN

Aby výrobní stroj plně vykonával svoji funkci, musí být rovněž systém na výměnu nástrojů spolehlivý. Musí splňovat následující požadavky <sup>[1],[2],[5],[10],[12]</sup>

- celý systém AVN musí být co možná nejjednodušší
- zásobník na nástroje musí mít dostatečnou kapacitu nástrojů, přičemž nesmí být náročný na prostor, resp. půdorysnou plochu
- uzel stroje, který nese nástroj v průběhu odebrání třísky, musí být dostatečně tuhý
- čas výměny nástroje z řezu do řezu, tzv. "chip-to-chip", musí být co nejkratší
- musí splňovat odolnost proti vlivu znečištění, zejména třísky a prach a rovněž musí být nenáročný na servisní údržbu
- mechanismy systému a nepracující nástroje musí být zakryté nebo uspořádané vhodně, aby neohrožovali operátora, resp. obsluhu stroje
- celý systém AVN musí být navržen tak, aby nepracující nástroje nebo mechanismy systému neomezovaly pracovní prostor stroje
- vysoká funkční spolehlivost s ohledem na četnost výměny a vysokou cenu stroje

## 2.2. Morfologie systémů AVN



Obrázek 2 Morfologie automatické výměny nástrojů a její typy [10]

Systémy automatické výměny nástrojů obsahují dva základní systémy, a to zásobník a manipulátor. Jednotlivé typy dílčích systémů budou rozebrány podrobněji v následujících kapitolách.

## 3. Funkce manipulátoru

Primární funkcí výměníku je sloužit jako prostředník umístěný mezi zásobníkem a vřetenem. Výměník je zkonstruován většinou jako dvojramenná páka s úhlem 180° či jiným. Funguje tak, že odebírá nový nástroj přímo ze zásobníku a starý nástroj z vřeten, poté po uchopení se rameno výměníku otočí o 180°. Starý nástroj tak vrátí do zásobníku a nový před vřeteno. Poté dojde k zasunutí jedním pohybem do zásobníku a vřeten. Následně je nástroj pootočen svojí osou o 90°, což je nutné proto, aby se lůžko vyklápělo. Častější využití má výměník se sklopným lůžkem natáčeným obdobně jako čelisti.<sup>[10]</sup>

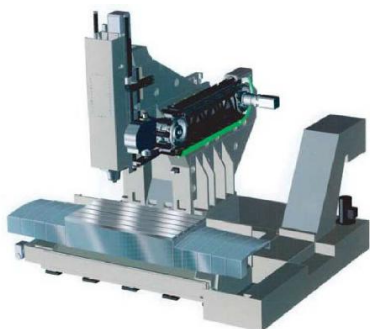
Výměník může být situován i v jiném úhlu, úhel chapačů nemusí být 180°. V konstrukci výměníku jsou užívány mechanismy náhonu elektrické, hydraulické, kombinované a mechanické, a to zejména pružiny. Má-li být výměník spolehlivý při



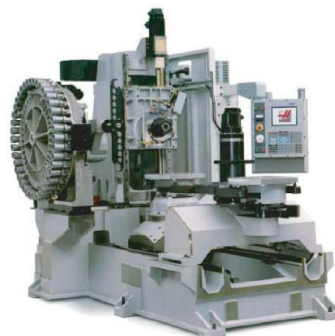
dosažení obzvláště krátkých časů výměny nástroje a má-li s velkou opakovatelností dosáhnout vysoké přesnosti polohy, je nutno pro vykonání požadovaných translačních a rotačních pohybů dvouramenného výměníku použít rovinné a prostorové vačky. Velké rychlosti výměny vyžadují patřičně výkonné pohony i tlumení celé soustavy. Výměník i odkládací místo musí bezpodmínečně zajistit neměnnou úhlovou orientaci nástroje vůči upínači nástrojů, který je umístěn ve stroji. <sup>[10]</sup>

Přímá výměna, vřetenem ze zásobníku, probíhá velmi jednoduše a v poměrně krátkém čase výměny. Pracovní vřeteno nejprve odloží původní nástroj do zásobníku, otočením zásobníku se do osy vřetena dopraví nový nástroj, který si odebere a upne pracovní vřeteno vlastními posuvovými a upínacími mechanismy. Uplatňuje se především u menších obráběcích center, u koncepcí s vřetenem ve výsuvné pinole. Celkový čas výměny trvá např. 5 sekund. Nevýhodou je, že část posuvového zdvihu vřeteníku musí být vyhrazena pro funkci výměny. <sup>[10]</sup>

S extrémně rychlou výměnou nástrojů přišla firma Chiron. Celková výměna tedy probíhá 0,9 sekundy. Nevýhodou je však omezená kapacita zásobníku nástrojů. Stroj disponuje pneumatickým náhonem výměníku, díky němuž je možná extrémně rychlá výměna nástrojů. <sup>[10]</sup>



Obrázek 3 Výměník s řetězovým zásobníkem - osa 90° (Sigma) [10]

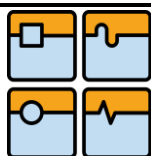


Obrázek 4 Výměník s kruhovým zásobníkem a sklopným lůžkem (Haas) [10]



Obrázek 5 Výměník Chiron (The basket tool changer) [8]





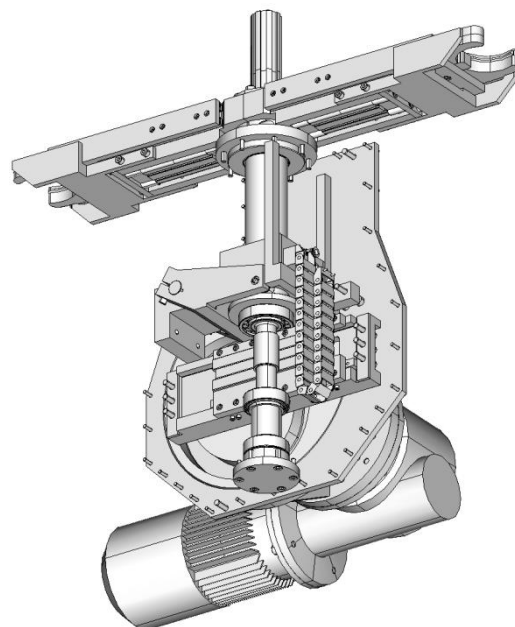
## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Zařízení pro automatickou výměnu nástrojů na CNC frézovacích strojích bylo vyvinuto vědeckým týmem působícím na Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně pod vedením prof. Kolíbala.

Automatizovaná výměna nástrojů probíhá tak, že manipulátor prostřednictvím manipulačního ramene vymění používaný nástroj za jiný ze zásobníku nástrojů. Manipulátor je mechanicky realizován prostřednictvím systému vaček<sup>1</sup>, které přenáší hnací sílu manipulační části linky předem přesně vypočítaným způsobem. V klasickém manipulačním systému je jedna vačka otáčející manipulační rameno, zatímco druhá vykonává translační pohyb – zdvih a klesání ramene.<sup>[9]</sup>

Vysoké pohybové rychlosti části manipulátoru jsou limitované velkým nárůstem zatížení pohonných motorů a nebezpečím rázů v mechanismech.<sup>[10]</sup>

Inovované konstrukce manipulátoru nahrazují dvouvačkový systém jednovačkovým. Odstranění jedné z vaček přináší zjednodušení a podstatné snížení nákladnosti výroby manipulátoru. Nové řešení je tak 100% kompatibilní se současnými manipulátory. Je chráněno českým patentem a užitným vzorem. Novinkou se zde rozumí využití jedné vačky pro vykonávání hlavních pohybů ramene manipulátoru a také užití výsuvného ramene pro realizaci úchopu nástroje. Lze jej uplatnit u CNC frézovacích center využívajících automatickou výměnu nástrojů.<sup>[9]</sup>



Obrázek 6 Zařízení pro automatickou výměnu nástrojů na CNC frézovacích strojích vyvinuté na FSI VUT Brno [9]

<sup>1</sup> Vačka je kotouč obvykle vejčitého tvaru, jehož otáčením lze převést otáčivý pohyb hřídele vačky na posuvný pohyb zdvihátka.

#### 4. Funkce zásobníku a rozdělení

Zásobník je nedílnou součástí systémů AVN. Rozděluje se podle principů funkce na dva základní druhy:

- systémy s nosným zásobníkem
- systémy se skladovacím zásobníkem

Typy zásobníků jsou dále rozděleny do tří dílčích podskupin u obou variant. Jednotlivé druhy systémů a jejich podskupin budou podrobněji rozebrány v následujících kapitolách.

##### 4.1. Systémy s nosným zásobníkem

Tento typ zásobníků je přímo součástí nosného systému (rámu) stroje. Rovněž se tento systém zásobníků podílí na vazbě silových toků ve stroji při práci (odebírání třísky) a je tak schopen přenášet rezné odpory. Vzhledem k nutnosti přesné polohy zásobníku nástrojů při úběru třísky, je zřejmé, že zásobník musí být umístěn přímo na stroji. Z tohoto důvodu je evidentní, že daný zásobník musí splňovat požadavky na malé rozměry a nízký počet nástrojových míst. Nicméně je zde i výhoda v podobě absence nutnosti zvyšování půdorysné plochy.<sup>[5]</sup>

Systémy AVN s nosným zásobníkem je možno rozdělit na tři základní podskupiny.<sup>[5]</sup>

- systémy s výměnou jednotlivých nástrojů
- systémy s výměnou celých vřeten s nástroji
- systémy s výměnou vícevřetenových operačních hlav s nástroji

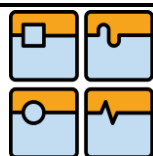
##### 4.1.1. Systémy s výměnou jednotlivých nástrojů

Revolverové a nožové hlavy číslicově řízených soustružnických center, jsou typickými představiteli těchto systémů a měly by splňovat následující požadavky.<sup>[5]</sup>

- vysoká přesnost polohování nástroje při výměně
- nástroje pro vnitřní a vnější obrábění si vzájemně nesmí překážet
- minimální počet nástrojů (vnitřní i vnější operace) v rozsahu 8 - 12
- minimální čas výměny nástroje v cyklu
- výměna nástrojového osazení hlavy musí být jednoduchá, přesná a rychlá

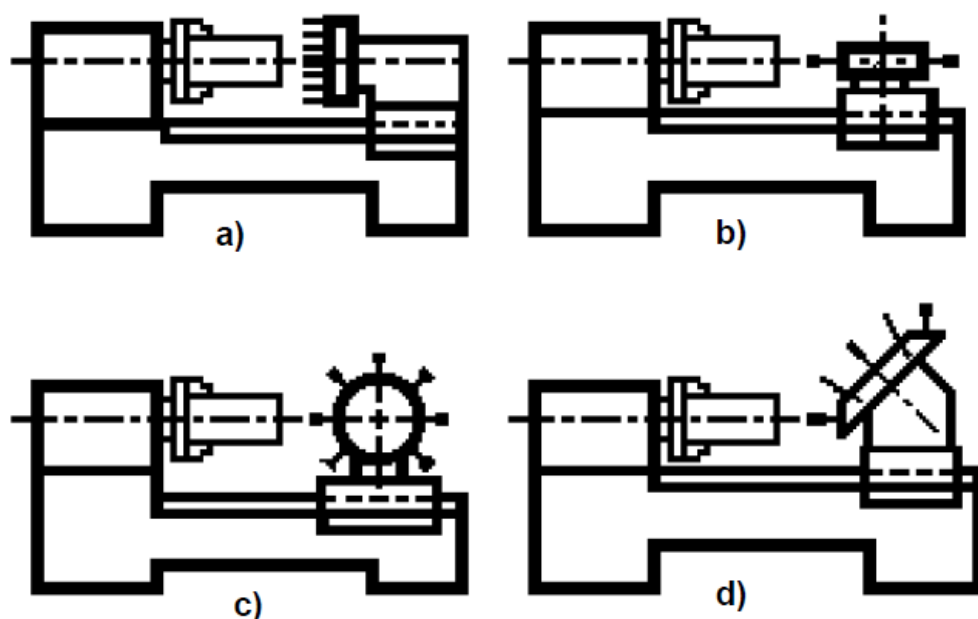
Nožové hlavy bývají 4 - 12-boké. Nástroje se upínají do jednotlivých pozic přímo nebo častěji prostřednictvím univerzálních držáků, ve kterých jsou již seřazeny. Nožové hlavy jsou konstruovány pro přednostní osazování noží, čili nástroji pro opracování vnějších i vnitřních rotačních ploch a rovinných ploch soustružením, resp. vyvrtáváním. Revolverové hlavy jsou oproti nožovým rozdílné v jejich konstrukci, která vychází z potřeb upínání osových nástrojů do jednotlivých nástrojových poloh. Je zjevné, že za pomoci speciálních držáků nástrojů lze revolverové hlavy osazovat noži a nožové hlavy osovými nástroji.<sup>[5]</sup>

Někteří výrobci řeší otázku zvýšení počtu nástrojových míst, za pomoci použití dvou a více kotoučů s nástroji samostatně e pootáčejících kolem společné osy, což je ve své podstatě konstrukce "víceposchodové" revolverové hlavy. Ovšem tyto konstrukce



jsou vhodné pouze pro obrobky malých průměrů, kvůli podstatně nižší možnosti kolize nástroje s obrobkem. <sup>[5]</sup>

Tyto systémy nacházejí své využití na strojích, u kterých vykonává obrobek hlavní řezný pohyb. <sup>[5]</sup>



Obrázek 7 Základní varianty revolverových hlav [5]

a) s vodorovnou osou otáčení, b) se svislou osou otáčení c) s příčnou osou otáčení, d) se šikmou osou otáčení

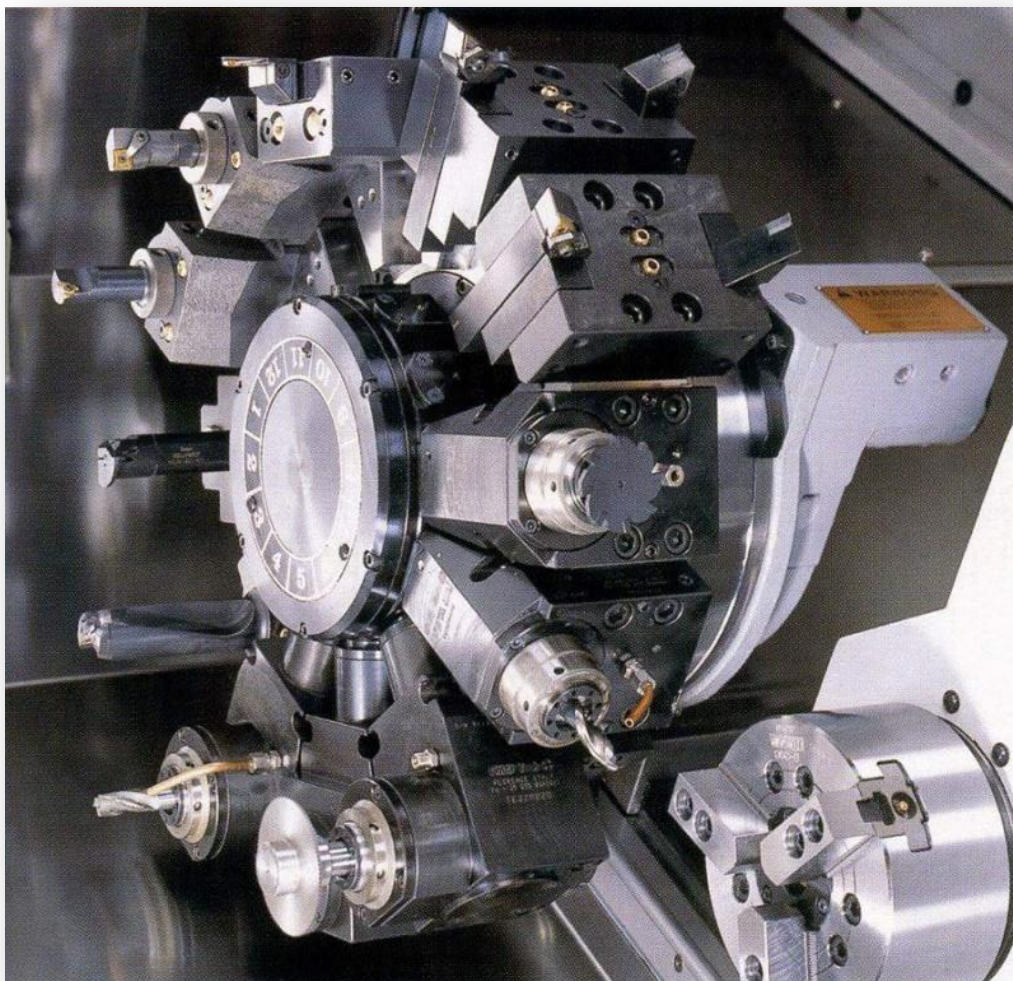
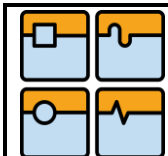
#### 4.1.2. Systémy s výměnou celých vřeten s nástroji

Systémy AVN s výměnou celých vřeten s nástroji využívají tři základní koncepce výměny vřeten.

- pomocí vřetenové revolverové hlavy
- pomocí vřeten rozmístěných v kruhu (vřetenové bubny)
- pomocí vřeten rozmístěných lineárně

Vzhledem k relativní jednoduchosti první varianty řešení, ji lze pokládat za nejpoužívanější. Na vřeteno se přenáší kroučící moment natočením požadovaného vřeten s nástrojem do pracovní polohy. Počet vřeten bývá nízký, a to 6 až 8 a vzhledem k nutnosti malých vzdáleností ložisek ve vřetenové hlavě, bývá nízká rovněž i tuhost. Koncepce je vhodná pro dokončovací operace. <sup>[5]</sup>

Princip činnosti lineárního zásobníku vřeten i vřetenového bubnu tkví v pootočení požadovaného vřeten s nástrojem do pracovní polohy, tedy lineárním posunutím. Poté je vřeteno zajištěno a pomocí spojky je na něj převeden točivý moment. Obě koncepce dosahují relativně vysokých tuhostí z důvodu vyšších ložiskových vzdáleností. Počet vřeten je také vyšší, tedy 10 - 20. <sup>[5]</sup>

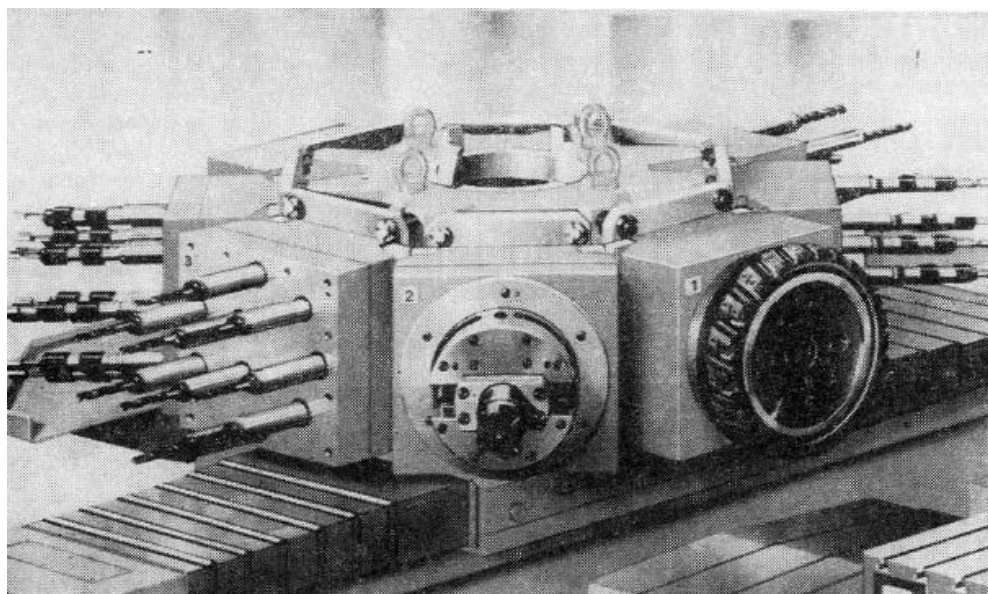
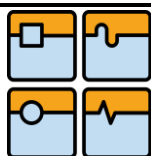


Obrázek 8 Revolverová hlava pro upínání nástrojů [7]

#### 4.1.3. Systémy s výměnou vícevřetenových operačních hlav s nástroji

Tyto systémy jsou postaveny na principu revolverové hlavy, u které je na každé straně připevněna další vícevřetenová operační hlava nebo vřetenová kazeta pro jednotlivý nástroj. Na obrázku 9 je zachycena 8-polohová rotační revolverová hlava. Použití tohoto systému je vhodné pouze pro činnost v opakované středně sériové výrobě či velkosériové výrobě místo automatických linek. <sup>[5]</sup>





Obrázek 9 Osmipolohová revolverová hlava s vícevřetenovými operačními hlavami [5]

#### 4.2. Systémy se skladovacím zásobníkem

Základním poznávacím znakem systémů AVN se skladovacím zásobníkem je fakt, že zásobník s nástroji není součástí nosného rámu stroje, tedy nepřenáší řezné odpory a plní pouze skladovací funkci. Díky tomu není nutno, aby byl umístěn přímo na stroji a také zde není žádná omezenost ohledně rozměrů, což se zde projevuje ve formě markantního zvýšení kapacity zásobníku. Na základě vysoké kapacity jsou tyto systémy předurčeny k použití na vysoko pružných obráběcích centrech. Mezi další výraznou výhodou těchto systémů patří absence možných kolizí nepracujících nástrojů s obrobkem. [5]

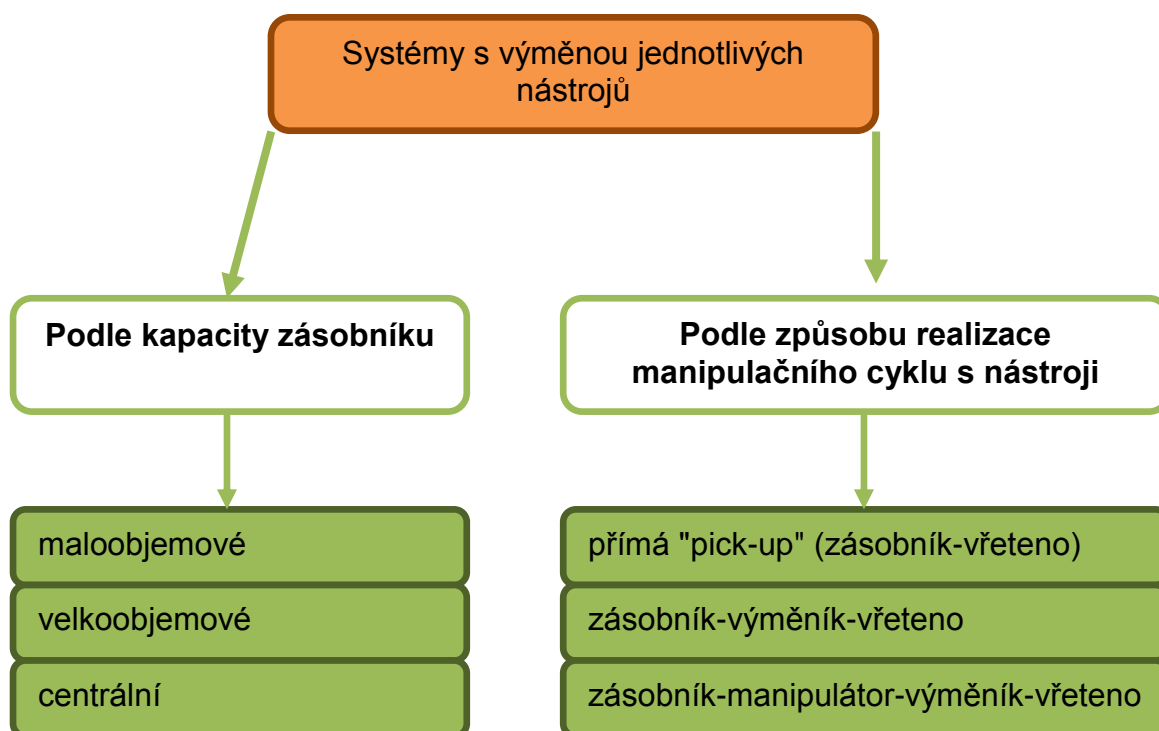
Mezi nevýhody těchto systémů patří nutnost jediného typového rozměru nástrojového držáku pro všechny nástroje a také skutečnost, že se stoupající kapacitou zásobníku, vzrůstá i vzdálenost polohy zásobníku vůči místa, ve kterém pracují nástroje např. vřeteno stroje. Na překlenutí těchto větších vzdáleností se vyvinuly relativně složité manipulační systémy, čímž vzrůstají náklady na konstrukci a výrobu. Rovněž je zde zvýšená pravděpodobnost výskytu poruch. Systémy AVN se skladovacím zásobníkem se v relativně velkém počtu variant řešení s různou složitostí, používá především v obráběcích centrech pro nerotační obrobky a také na soustružnických centrech. [5]

Systémy AVN se skladovacím zásobníkem rozdělujeme na tři základní podskupiny podle objektu skladování v zásobníku. [5]

- systémy s výměnou jednotlivých nástrojů
- systémy s výměnou celých vřeteníků s nástroji
- systémy s výměnou vícevřetenových operačních hlav s nástroji

#### 4.2.1. Systémy s výměnou jednotlivých nástrojů

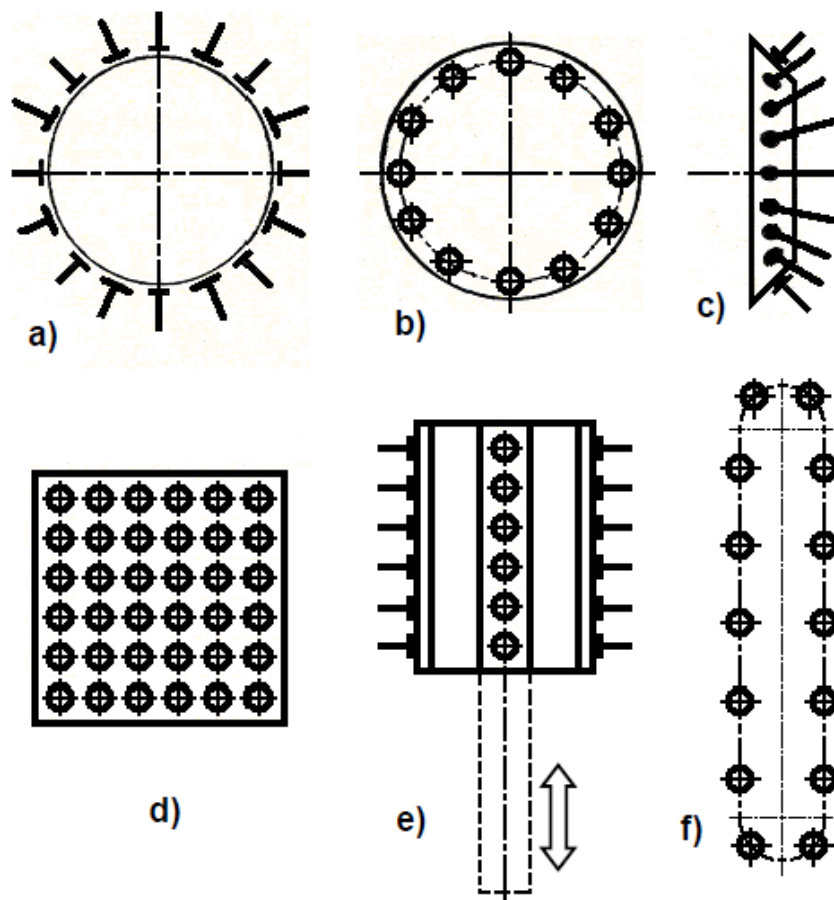
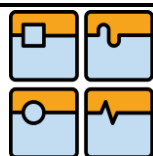
Tyto systémy lze rozdělit do dalších dvou podskupin, a to podle kapacity zásobníku a podle způsobu realizace manipulačního cyklu s nástroji.



Obrázek 10 Rozdělení systémů s výměnou jednotlivých nástrojů [4],[5]

#### Rozdělení podle kapacity zásobníku:

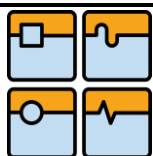
Systémy AVN s maloobjemovými zásobníky obvykle bývají jednodušší, přičemž jejich kapacita se pohybuje do 40 nástrojových míst. Jak je patrné z obrázku 11, nástroje jsou zde uspořádány podobně jako v revolverových hlavách, tedy radiálně (obr. 11a), rovnoběžně (obr. 11b), nebo různoběžně (obr. 11c) vůči ose otáčení zásobníku. Také mohou být řešeny jako zásobníky regálové (obr. 11d), segmentové (obr. 11e) a malé řetězové (obr. 11f). Vzhledem k nízkým rozměrům je možno tyto zásobníky umístit přímo na pracovním vřeteníku, na stojanu či stole stroje, čímž nedochází ke zvětšování půdorysné plochy stroje. <sup>[4],[5]</sup>



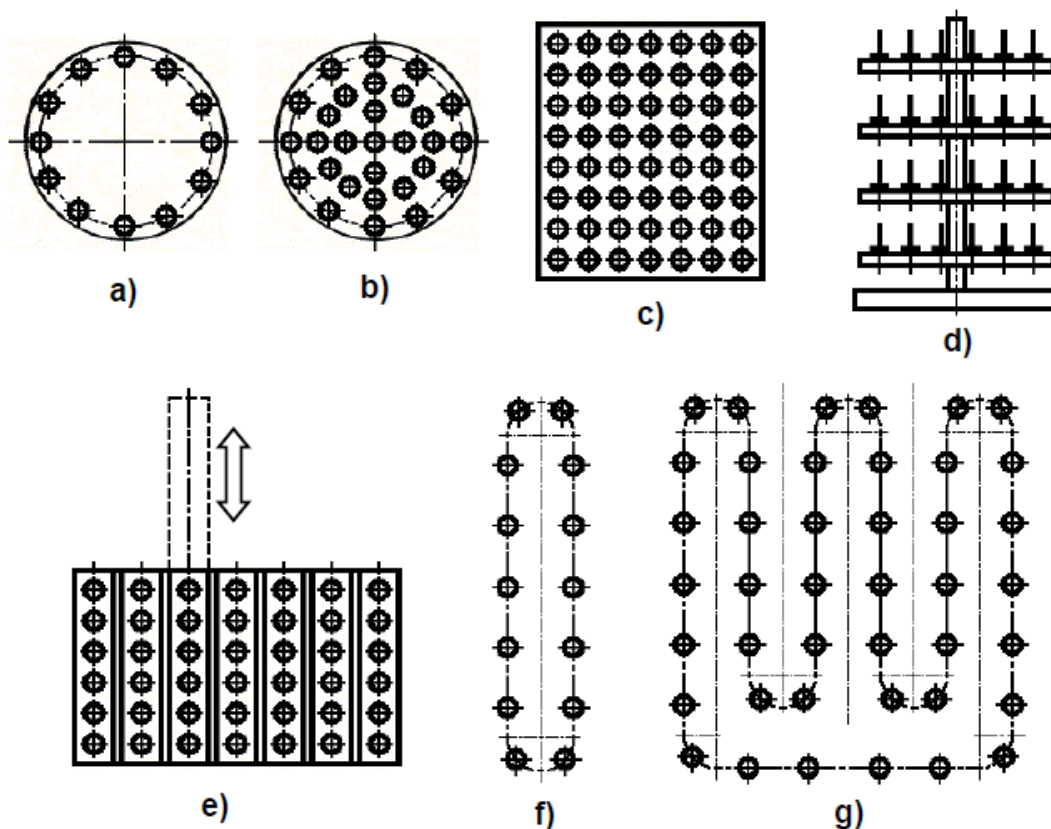
Obrázek 11 Základní typy maloobjemových zásobníků [5]



Obrázek 12 Lineární aréna nástrojů [6]



Systémy AVN s velkoobjemovými zásobníky jsou kapacitně vybaveny od 60 přes 500 i více nástrojů. Zásobníky bývají řešeny jako bubnové (obr. 13a), kotoučové (13b), regálové (13c,d), segmentové (13e), nebo řetězové (obr. 13f,g). Pro jejich relativně vysokou hmotnost a rozměry, které zvětšují půdorysnou plochu stroje, se nejčastěji umísťují mimo stroj na zvláštním stojanu. <sup>[4],[5]</sup>



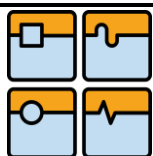
Obrázek 13 Základní typy velkoobjemových zásobníků [5]

Systémy AVN s centrálním zásobníkem jsou pouze další formou těchto systémů, kde je možno zvýšit celkovou kapacitu zásobníku. Tento princip je výhodný, poněvadž je zde možno ušetřit čas, kdy je třeba kontrolovat a případně vyměnit otupený nástroj. Tyto operace je zde možno provádět bez rušivých vlivů na pracovní provoz. <sup>[4],[5]</sup>

### Rozdělení podle způsobu realizace manipulačního cyklu s nástroji:

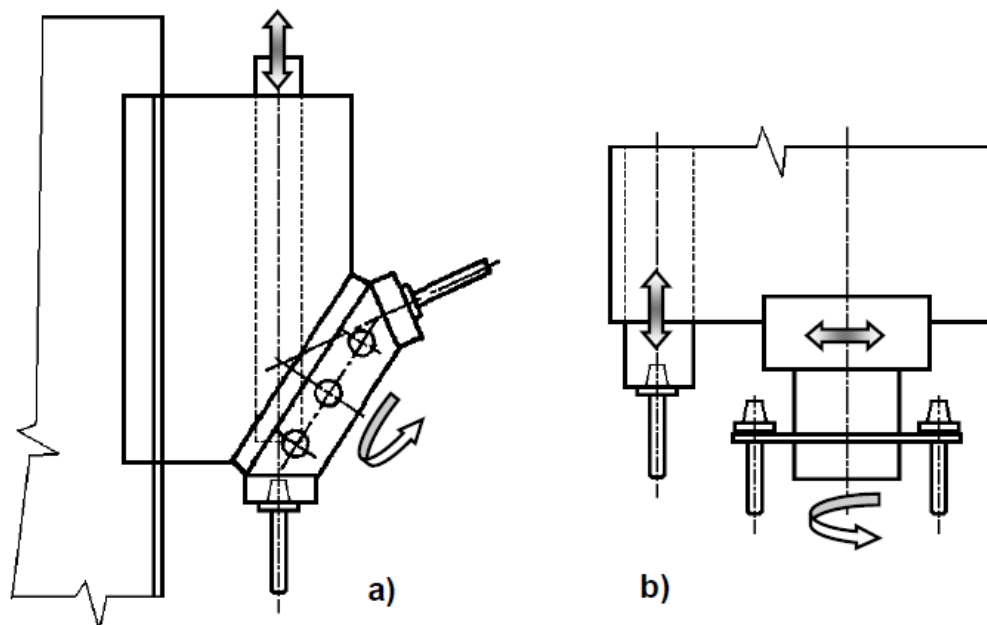
Systém přímý "pick-up" zásobník-vřeteno je z důvodu absence nutnosti speciálního manipulačního prvku konstrukčně nejjednodušší z variant. Zásobník ve tvaru revolverové hlavy se šikmou osou otáčení (obr. 14a) nebo ve tvaru bubnu se svislou osou je obvykle umístěn na vřeteníku. V případě uvedeném na obrázku 14b je zásobník zpravidla zavěšený pod vřeteníkem s možností vodorovného pohybu, současně je zde výsuvné pracovní vřeteno. Nutností u těchto systémů je uspořádání nástrojů v operačním sledu. Po dokončení práce se uvolní a zachytí nástroj do zásobníku, který se současně posune pod vřeteno s nástrojem. Poté se zásobník otočí o rozestup, vřeteno se nasune na upínací plochu držáku dalšího nástroje a dochází k jeho upnutí. Doba výměny je 10 sekund i více a počet nástrojů v zásobníku 6 - 20. <sup>[5]</sup>





## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

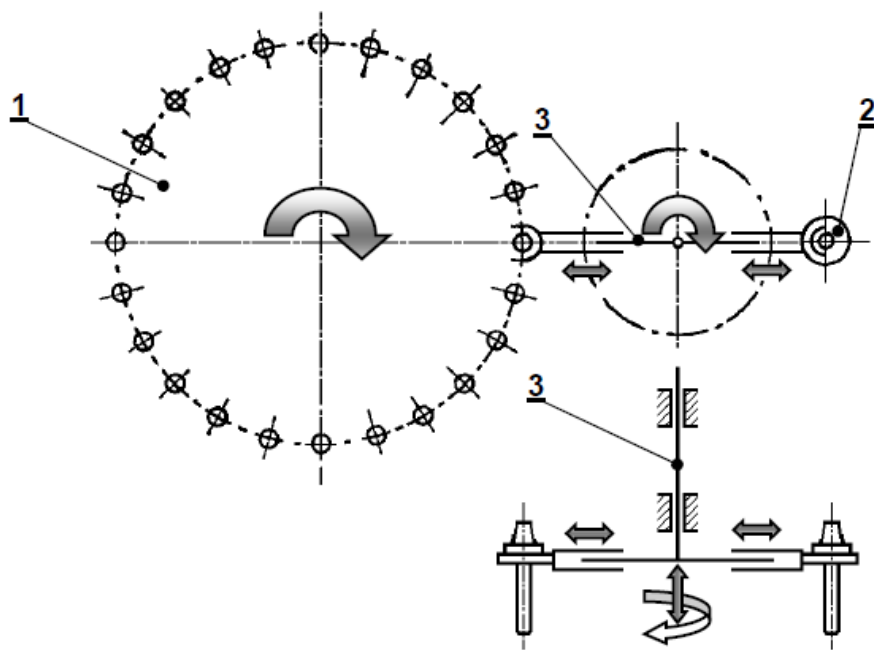
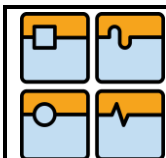
Tento systém nachází své využití u strojů, kde nejsou požadovány vysoké nároky na rychlost výměny a počet nástrojů v zásobníku. Při konstrukci daného systému s bubnovým zásobníkem je možno jej nahradit za zásobník řetězový, čímž je dosaženo vyšších kapacit nástrojů. [5]



Obrázek 14 Princip činnosti systémů AVN zásobník-vřeteno [5]

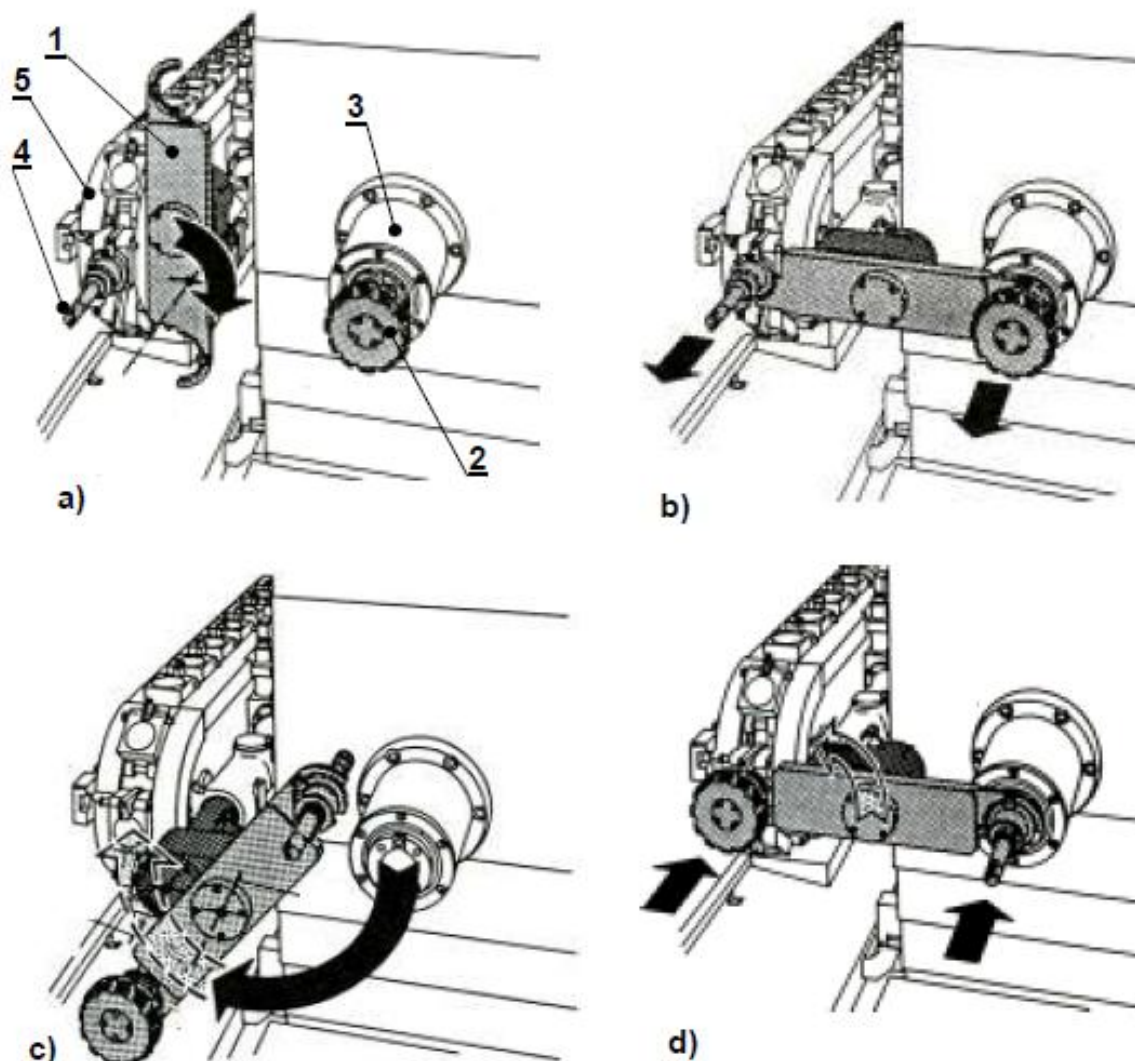
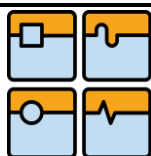
Systém zásobník-výměník-vřeteno využívá v čase výměny mezi zásobníkem **1** a vřetenem **2** účelový manipulátor **3**. Na obrázku 15 je zobrazen systém využívající otočný a výsuvný dvouramenný manipulátor s teleskopickými rameny. V průběhu práce dochází k natočení zásobníku tak, aby nástroj připravený pro další operaci byl připraven v dosahu manipulátoru. Po dokončení operace dochází k uchopení nástroje ve vřetenu pomocí prvního ramene a nástroje v zásobníku ramenem druhým. Poté dochází k jejich vysunutí z upínací plochy, otočení manipulátoru o  $180^\circ$  a zasunutí nového nástroje do vřetena, současně se zasunutím použitého nástroje do zásobníku. Nástroje zde nemusí být uloženy v operačním sledu a výměna trvá v řádech několik sekund. [4],[5]

Využití těchto systémů AVN je v praxi nejčastější. Mezi typy použitelných zásobníků se vyskytují zásobníky s vodorovnou nebo svislou osou otáčení, řetězové vodorovné nebo svislé i šikmé. Umístění zásobníků je možno realizovat více způsoby, např. na stojanu stroje, na boku vřeteníku, vedle stroje apod. Počet nástrojů v zásobníku bývá od 20 před 50 i více, při čase výměny pohybujícím se od 4 do 8 vteřin. U výkonných strojů se čas výměny ještě zmenšuje. [4],[5]



Obrázek 15 Systém AVN zásobník-výměník-vřeteno [5]

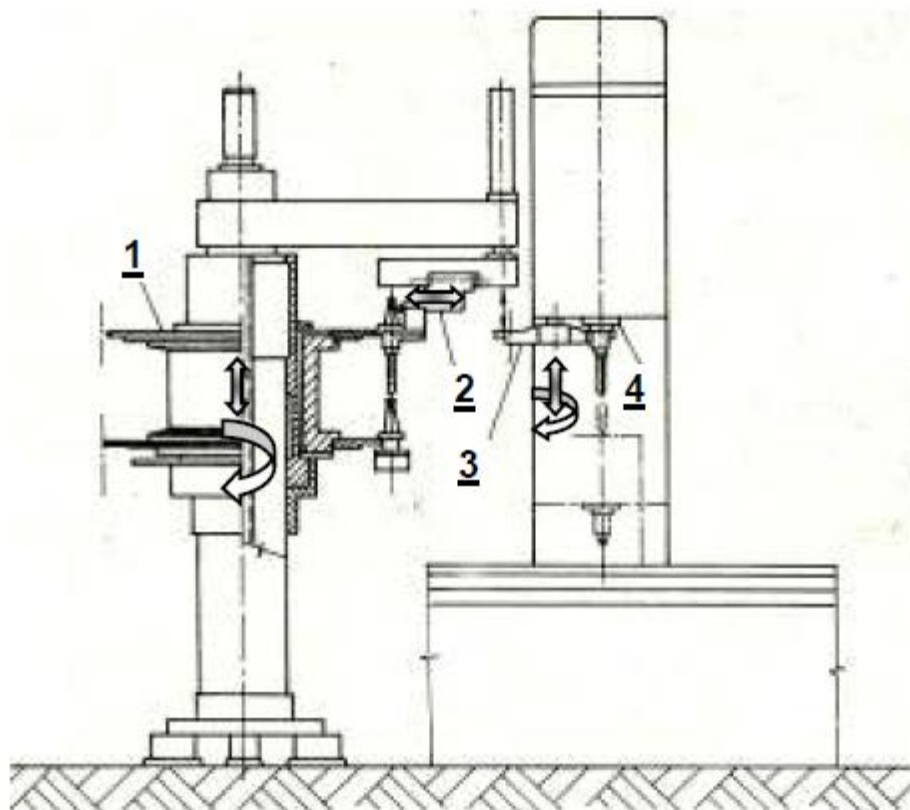
Na obrázku 16 je možno vidět průběh manipulačního cyklu při výměně nástroje. Manipulátor **1** je v základní poloze po dobu práce stroje. Po ukončení činnosti nástroje **2**, který je upnut ve vřetenu **3** následuje natočení ramene manipulátoru o  $90^\circ$  při současném uchopení použitého nástroje a nového nástroje **4** v připravené pozici v řetězovém zásobníku **5**. Poté následuje vysunutí nástroje **2** z vřetena a nástroje **4** ze zásobníku pohybem manipulátoru, který je naznačen šipkami (obr. 16b). Fáze otáčení ramene o  $180^\circ$  je naznačena na obrázku 16c, přičemž se oba nástroje dostávají do požadovaných poloh. Zasunutím ramene ve smyslu šipek zobrazených na obr. 16d se dosáhne definitivní polohy nástrojů, tím se použitý nástroj dostává do prázdné upínací pozice v zásobníku a nový nástroj do vřetena. Poté následuje pootočení ramene o  $90^\circ$  do klidové polohy. Pohybem řetězu zásobníku se do přípravné pozice dostává další nástroj. <sup>[5]</sup>



Obrázek 16 Průběh manipulačního cyklu při výměně nástroje [5]

Systém zásobník-manipulátor-výměník-vřeteno je mezi systémy AVN s výměnou jednotlivých nástrojů nejsložitějším. Na obrázku 17 je schematicky zachycen příklad řešení. Princip činnosti je založen na automatickém vyhledávání nástroje pro následující operaci souběžně s pracovním cyklem nástroje. Pootočením zásobníku **1** je vyhledán nástroj pro další operaci, poté je dopravním manipulátorem **2** přenesen na určité místo, kde může být uchopen výměníkem **3**. Další postup výměny je stejný jako v předchozích variantách. Vlastní výměna nástroje ve vřetenu **4** je možná v rozmezí 2-4 vteřin. <sup>[5]</sup>

Tyto systémy nacházejí své využití především v kombinaci s velkoobjemovými zásobníky nástrojů, které jsou umístěny vedle stroje v relativně velké vzdálenosti, přičemž transport mezi zásobníkem a pracovním prostorem stroje zajišťuje dopravní manipulátor. <sup>[5]</sup>

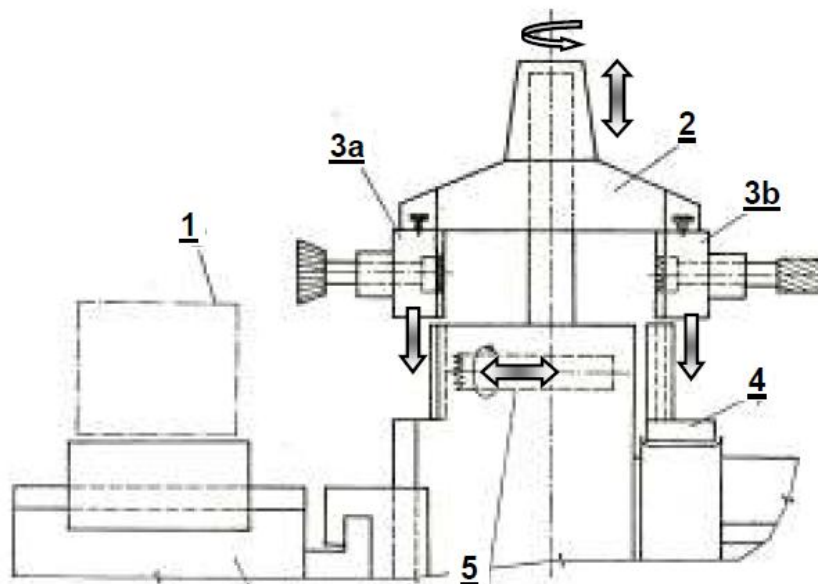
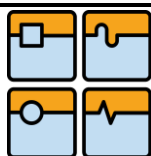


Obrázek 17 Princip Systému zásobník-manipulátor-výměník-vřeteno [5]

#### 4.2.2. Systémy s výměnou celých vřeteníků s nástroji

Díky snaze zajistit pro typické operace třískového obrábění (frézování, vrtání apod.) s rozdílným vzájemným rozložením řezných odporů, optimální uložení vřetena, vznikly systémy AVN s výměnou celých vřeteníků s nástroji. Příklad řešení systému je na obrázku 18. V pracovním prostoru s obrobkem 1, jsou postupně vyměňovány celé vřeteníky 3a, resp. 3b (vřetenové kazety) s nástroji, pomocí dvouramenného manipulátoru 2. Tyto vřeteníky jsou opakovaně vybírané a vkládané do skladovacího řetězového zásobníku 4, jenž je umístěn na zadní straně stroje. Z centrálního náhonu 5, je po výměně na vřeteno vřeteníku v pracovní pozici, přenášen točivý moment za pomoci ozubené spojky. <sup>[5]</sup>

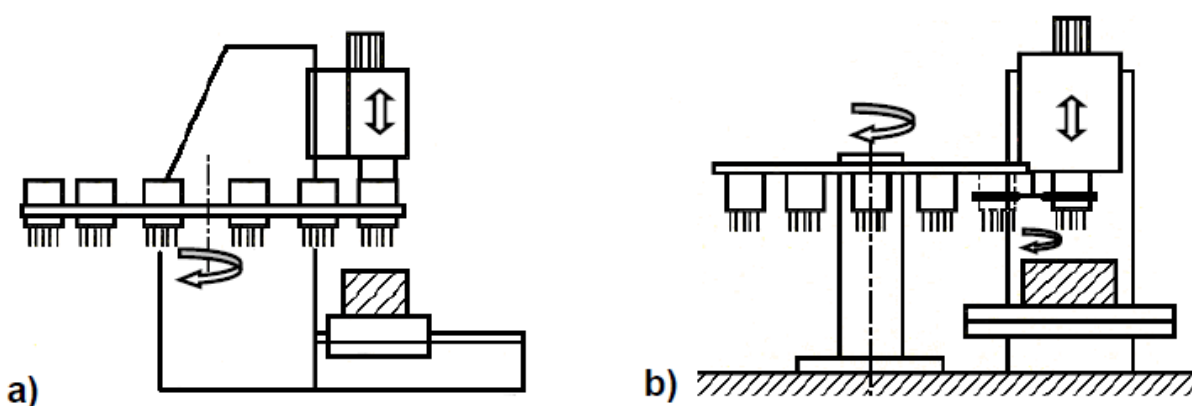
Pro každý nástroj zde můžeme zvolit optimální vřeteno, což je zde výhodou. Z důvodu krátké doby, po kterou vřeteník pracuje, není třeba chlazení. Upnutí vřeteníků či kazet je zde realizováno ve svislých vodících plochách. Na těchto plochách se neudrží nečistoty, proto může být upnutí přesné a tuhé. Nevýhodou těchto systémů je jejich vysoká pořizovací cena a jeho určitá těžkopádnost způsobená mohutným zásobníkem a manipulátorem, tudíž i použití těchto strojů je minimální. <sup>[5]</sup>



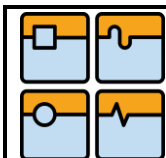
Obrázek 18 Systémy s výměnou celých vřetenů s nástroji [5]

#### 4.2.3. Systémy s výměnou vícevřetenových operačních hlav s nástroji

Tyto systémy byly vyvinuty pro použití v sériové a velkosériové výrobě, kde stroje těmito systémy vybavené mohou nahradit tvrdé automatické linky. Na obrázku 19 jsou schematicky vyobrazeny dvě možná řešení. Vícevřetenové hlavy jsou uloženy ve skladovacím zásobníku, přičemž rozlišujeme princip pick-up (bez podáváče), na obrázku 19a a princip s podáváčem - obrázek 19b. Zásobník s podáváčem je umístěn samostatně vedle stroje. K hlavě je po přesunutí pod pracovní vřeteník upnut pohon vřeten. [5]

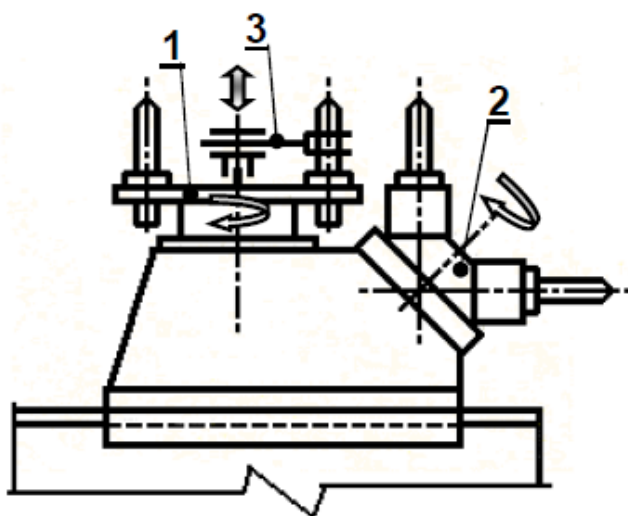


Obrázek 19 Systémy s výměnou vícevřetenových operačních hlav s nástroji [5]



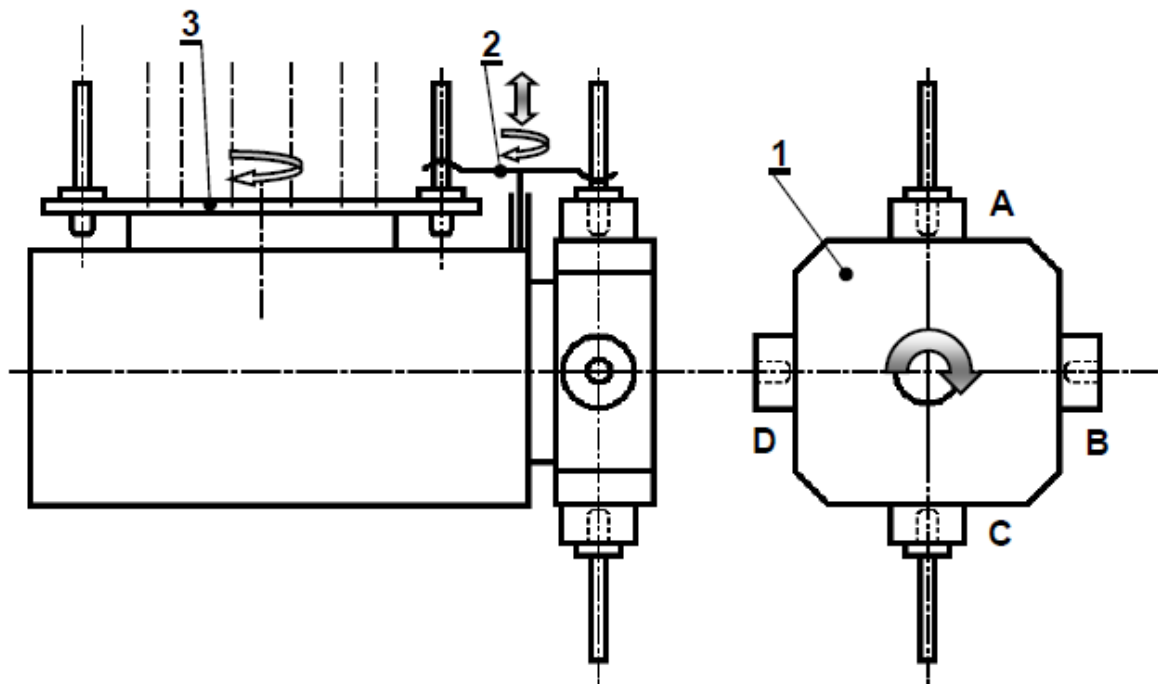
#### 4.3. Systémy kombinované

Pod pojmem kombinovaných systémů rozumíme systémy AVN vytvořené integrací se skladovacím zásobníkem a systémů s nosným zásobníkem. Na obrázku 20 je znázorněn nejjednodušší kombinovaný systém AVN s dvoupolohovou revolverovou hlavou, který disponuje bubnovým skladovacím zásobníkem 1 a revolverovou hlavou 2. Výhodou těchto strojů je rychlá výměna pracovních nástrojů přímo v pracovním prostoru stroje. Pomocí manipulátoru 3 je v průběhu práce z druhého nástrojového místa v hlavě nástroj navrácen zpět do skladovacího zásobníku a na jeho místo je vsazen nástroj pro následující operaci. Výměna trvá přibližně 1 - 4 s. Nevýhodou je však dlouhá výměna nástrojů, při krátkých operacích, která může trvat 15 - 20 s. <sup>[5]</sup>



Obrázek 20 Kombinovaný systém AVN s dvoupolohovou revolverovou hlavou [5]

Systémy s vícemístnými revolverovými hlavami tuto nevýhodu odstraňují. Na obrázku 21 je zobrazen kombinovaný systém AVN se čtyř-polohovou revolverovou hlavou 1, kde jsou nástroje měněny manipulátorem 2 ze skladovacího zásobníku 3 jen v místech A a C. Do míst B a D jsou permanentně upnuty nástroje, které jsou příliš rozměrné pro uložení do skladovacího zásobníku nebo jsou určeny pro časově krátké operace, čímž je umožněna úspora vedlejších časů. <sup>[5]</sup>



Obrázek 21 Kombinovaný systém AVN se čtyřpolohovou revolverovou hlavou [5]

## 5. Upínání a držáky nástrojů

U strojů s hlavním řezným pohybem nástroje se používá upínání do válcových nebo kuželových otvorů. Ve vřetenu stroje jsou vždy jednotné plochy, na které se upíná standardní držák, do něhož se různými způsoby upevňují nástroje. U strojů s hlavním řezným pohybem obrobku se používají také držáky s válcovou či kuželovou stopkou, nebo se užívá držáků s různě uspořádanými plochami. <sup>[4]</sup>

### 5.1. Požadavky na upínání a držáky nástrojů

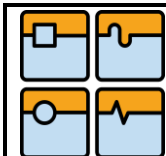
Každý držák nástrojů použitý v systémech AVN musí splňovat následující funkce:

- Jednotný typ pro různé druhy nástrojů
- Vysoká tuhost ve všech směrech působení řezných sil
- Opakovatelná přesnost při upnutí na stroji
- Minimální deformace upínáním
- Vytvoření odpovídajících ustalovacích ploch
- Možnost seřízení nástroje mimo stroj
- Musí umožňovat přívod chladicí kapaliny k nástroji
- Možnost kódování nástrojů

### 5.2. Držáky s kuželovou upínací plochou

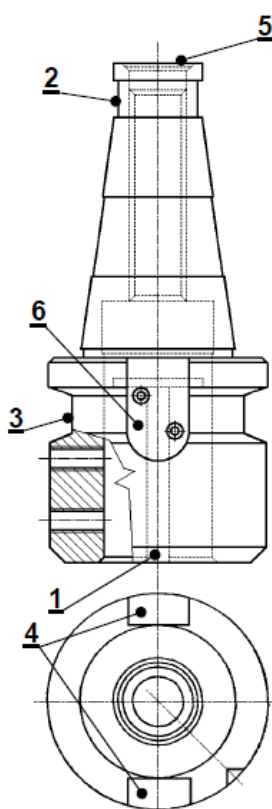
Rozeznáváme dva typy držáků s kuželovou upínací plochou a to s dlouhým, resp. s krátkým kuzelem, přičemž konstrukce vývojově starších držáků s dlouhým kuzelem má kořeny v upínání frézovacích tyčí na frézovacích strojích s vodorovnou osou vřetena. U takových strojů bylo použito ukončení vřetena s vnitřním nesamosvorným kuzelem ISO s kuželovitostí 7:24. Stejně kuželovitosti odpovídala i proti plocha na





## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

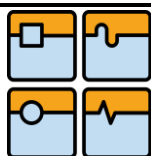
frézovací tyči. Daná kuželovitost zde zajišťuje relativně dlouhou kuželovou plochu, což vede k dostatečnému samostatnému vystředění i za chybějící samosvornosti. Výhodou je zde lehké vyjmutí nástroje z dutiny. Na obrázku 22 je zobrazen standardní držák nástrojů s hlavními upínacími plochami a ISO kuželem. Nástroj je za pomoci šroubů upnut do vnitřní válcové plochy, přičemž krouticí moment z držáku na nástroj je přenášen perem v drážce **1**. Z obrázku 22 je zjevné, že na zachycení kleštinového nebo kuličkového upínacího zařízení je určen zápch **2** na konci kuželové části držáku. Pro uchopení držáku manipulátorem je určená drážka **3**. Krouticí moment z vřetena na držák je realizován pomocí unášecích kamenů, které zapadnou do drážek **4**. K označení nástroje v určitém kódu jsou vyhrazeny plochy **5** a **6** na nástroji. <sup>[5]</sup>



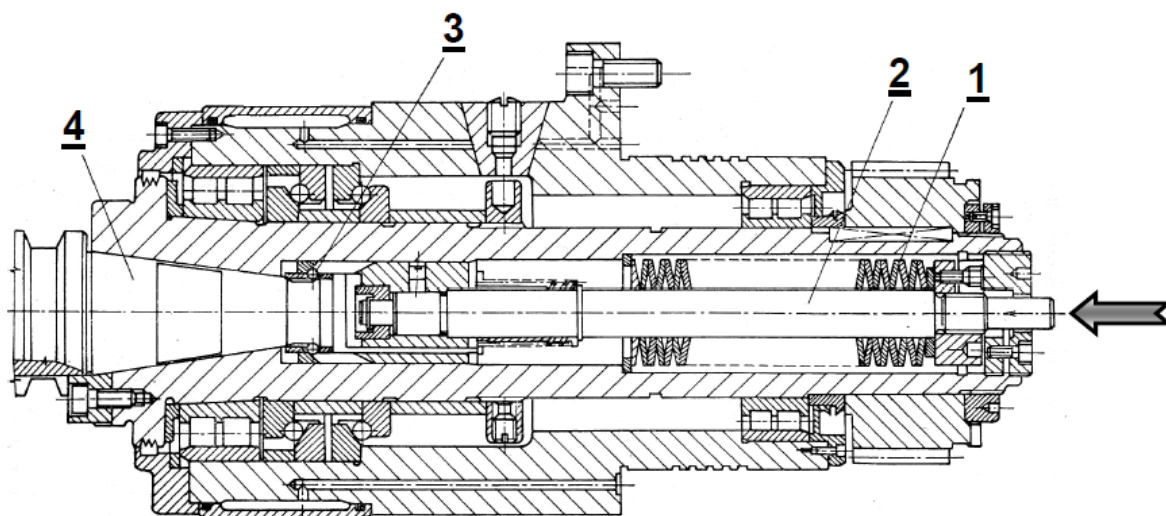
Obrázek 22 Držák nástrojů s kuželovou stopkou ISO [5]

Upínání držáků ve vřetenu je realizováno pomocí rychloupínací jednotky, která musí být samosvorná z důvodu náhlého elektrického výpadku, kdy musí upínací síla stále působit, aby nedošlo k vypadnutí nástroje. Rovněž musí rychloupínací jednotka upínat všechny nástroje stejnou silou, aby bylo zabráněno nepřesnostem v poloze nástroje. Na obrázku 23 je zobrazeno konstrukční řešení rychloupínacího zařízení pro nástrojové držáky ISO společně s uložením vřetena obráběcího centra FWV 2. Nástroj je zde upnut v poloze, kdy je držen tahem talířových pružin **1**, který je přenášen táhlem **2** a speciálním kuličkovým uzávěrem **3** na držák nástroje **4**. Pohyb pístu přímočarého hydromotoru ve směru šipky na pravý konec táhla **2** dojde k uvolnění nástroje z upnuté polohy. Tento pohyb je realizován uvolněním kuličkového uzávěru a držák s nástrojem je možné vyjmout. <sup>[5]</sup>



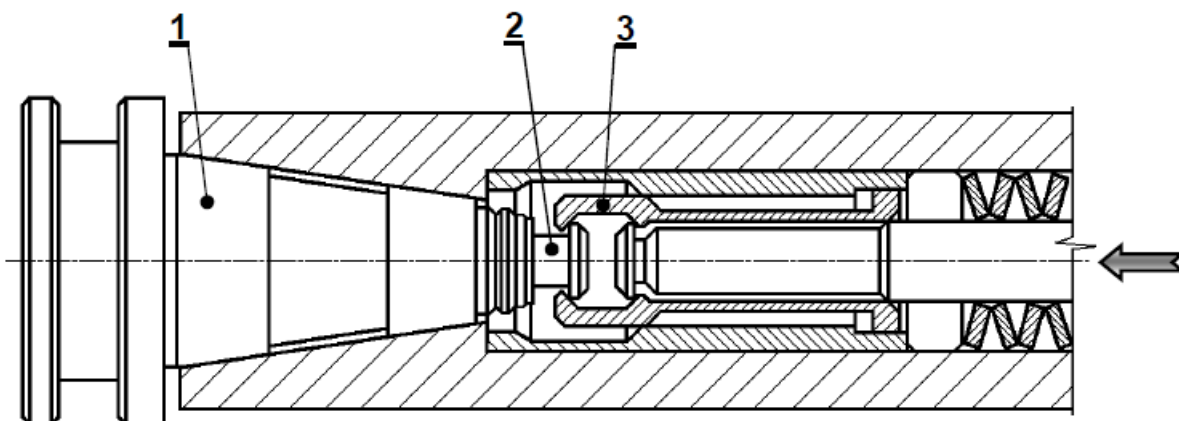


## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Obrázek 23 Upínání držáku s nástrojem ve vřetenu pomocí kuličkového mechanismu [5]

Jiný způsob uchycení nástrojového držáku je patrný z obrázku 24. Na spojení držáku 1 s upínacím táhlem 2 je určena speciálně tvarovaná kleština 3. K uvolnění držáku je zde třeba převýšit sílu v pružinách působením externího zdroje síly, např. lineárního hydromotoru ve směru šipky, jak je patrné z uvedeného obrázku. [5]



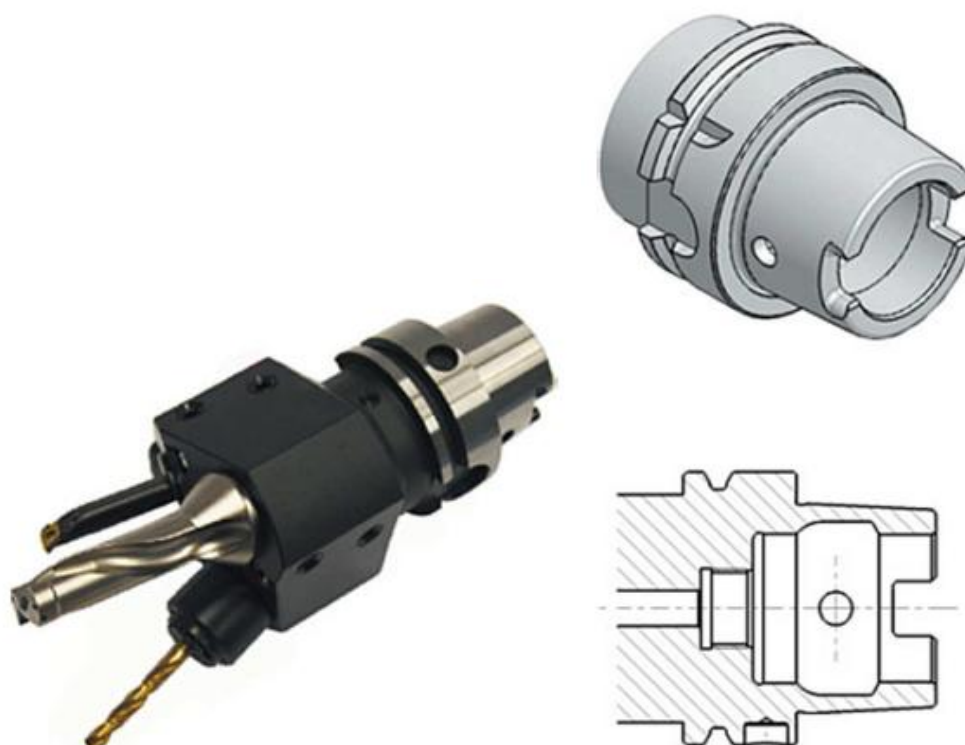
Obrázek 24 Upínání držáku s nástrojem pomocí kleštiny [5]

Nevýhodami nástrojových držáků s kuželovou stopkou se strmým ISO kuželem jsou velmi přesná výroba kuželových ploch držáku i vřetena a potřeba změny polohy vřetena při každé výměně nástroje, kvůli unášecím kamenům. Další nevýhodou je obtížné udržování stopky, která musí být v čistotě. Když se nečistoty dostanou mezi upínací plochy na držáku a v dutině vřetena, vtlačují se do nich a tím je poškozují a v konečném důsledku také nepříznivě ovlivňují přesnost práce stroje. Minimální házení je dle podmínek práce a přesnosti stanoveno v rozsahu 0,03 - 0,006 mm. [5]

Nevýhodou pro stroje určené na vysoko rychlostní obrábění (HSC - High Speed Cutting) je relativně velká délka stopky nástroje s ISO kuželem z důvodu relativně dlouhého časového úseku, který je potřebný pro vytažení nástroje z vřetena. Z toho důvodu byly vyvinuty koncovky nástrojových držáků s krátkým kuželem s označením

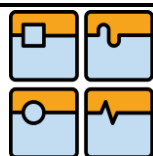
HSK (Hohlschaftkegel). Prvním, kdo vyrobil prototyp držáku nástrojů s krátkým kuželem se stala firma Diebold. Nejdříve se nástroje s HSK koncovkami používaly v transferových linkách automobilového průmyslu, ovšem v současnosti je jejich využití stále častější z důvodu jejich kladných vlastností, např. kratších časů na výměnu ve vřetenu.<sup>[5]</sup>

Tyto nástroje byly ještě doplněny o čelní rovinnou plochu příruby, poněvadž krátký kužel nezaručuje sám o sobě dostatečné středění nástroje vůči ose vřetena. tímto se značně zvýšila přesnost polohování nástroje ve vřetenu, protože při upínání je držák s vřetenem spojený s předpětím. Tolerance mezi kuželovou a rovinnou upínací plochou jsou menší než 0,002 mm. Vysoké tvarové a rozměrové přesnosti upínacích ploch pochopitelně zaručují vysokou přesnost otáčení nástroje. Ohybová tuhost nástroje je také zvýšena dosednutím držáku v čelní rovinné ploše příruby na proti plochu vřetena. Koncovky HSK jsou schopné přenášet vysoké kroutící momenty, protože kromě přenášením pomocí unášecích kamenů se přenáší také třením mezi držákem a kuželovou dutinou vřetena. Při vysokých otáčkách vznikají odstředivé síly, které vytlačují upínací prvky směrem ven, čímž se zvyšuje upínací síla. Z tohoto důvodu jsou nástrojové držáky s kuželem HSK vhodné také pro vysokorychlostní stroje. U klasických držáků s ISO kuželem tohle není možné, držák musí být zasunutý hluboko do vřetena a neustále držen v sevřeném stavu. Závěrem je třeba vypíchnout, že držáky s HSK kuželem také umožňují centrální přívod řezné kapaliny z vřetena do nástroje, aniž by se dané médium dostalo na upínací plochy.<sup>[5]</sup>



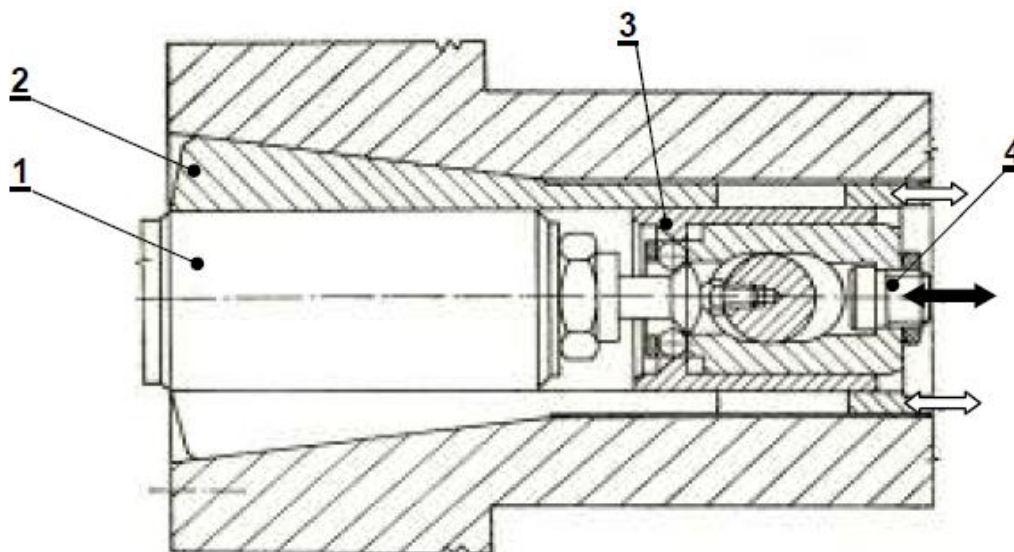
Obrázek 25 Držák vyvrtávacích nástrojů trojnásobný [11]

Obrázek 26 Nástrojový držák s kuželem HSK-T [11]



### 5.3. Držáky s válcovou upínací plochou

Na obrázku 27 je zobrazen držák s válcovou upínací stopkou, kde lze vidět i část upínacího zařízení ve vřetenu. Držák **1** je do vřetena upnutý pomocí kleštiny **2** a pojištěný je pomocí kuličkového mechanismu **3**, které je ovládáno táhlem **4**. Válcová stopka má zpravidla průměr 45 - 50 mm. <sup>[5]</sup>



Obrázek 27 Držák s válcovou stopkou upnutý ve vřetenu [5]

Největší výhodou držáků s válcovou stopkou je fakt, že se velice snadno udržují v čistotě, což vede k vysoké přesnosti upínání (radiální házení držáku bývá 0,004 mm). Opatření upínacích ploch je minimální, protože nečistoty se odstraňují prakticky při každém zasunutí do vřetena i do zásobníku stěračem, stlačeným vzduchem, případně pouzdrem. Mezi další výhody řadíme nízkou nutnost přesného polohování vřetena při výměně nástroje a jednoduchá výroba. Pouze v případě proměnlivých kroutících momentů nebo nutnosti přesné polohy řezných klínů (např. u vyvrtávacích tyčí) je třeba nástrojový držák vybavit unášecími kameny. <sup>[5]</sup>

Nedostatkem je menší tuhost upnutí ve vřetenu z důvodu kleštiny, jenž se nachází mezi držákem a vřetenem, která je ve své podstatě poddajný prvek snižující tuhost celé soustavy. Na výrobu je složitější i konstrukce upínacího zařízení. Pro tohle zařízení je třeba dvou samostatným upínacích mechanismů, z nichž první je určen pro upínací kleštinu (ovládání znázorněno na obrázku 27 bílou šipkou) a druhý je určen pro pojistné zařízení (ovládání znázorněno na obrázku 27 černou šipkou), které vykonává funkci zabezpečení nástroje před samovolným vysunutím z vřetena. Použití je vhodné u strojů, kde požadujeme vysokou pracovní přesnost. <sup>[5]</sup>

## 6. Kódování nástrojů v systémech automatické výměny nástrojů

Kódováním nástrojů v systémech automatické výměny nástrojů je potřebné k tomu, aby bylo možné naprogramovat sled nástrojů v průběhu obrábění součástí. Nástroje v zásobníku tedy musí být nositeli specifického kódu. Je-li kód umístěn na nástroji, jde o tzv. kódování nástroje, je-li kód umístěn na zásobníku, jde o kódování místa v zásobníku. Každý nástroj (nástrojová pozice v zásobníku) má potom jednoznačně

přiřazený specifický kód, na který se odvoláváme při volání nástroje v příslušném bloku programu slovem s adresou „T“. <sup>[4],[5]</sup>

Výhodnějším způsobem je ten, kdy nositelem kódu je držák s nástrojem, neboť tak každý nástroj může mít stále svůj neměnný kód. To umožňuje automatizovat i výměnu nástrojů ve skladovacích zásobnících. Kódované nástroje je možno v zásobníku rozmístit libovolně bez obavy, že dojde k chybnému výběru nástroje. U kódovaných míst v zásobníku se musí nástroje ukládat přesně na místa určená programem, což je nevýhoda, neboť může dojít k záměně, která by mohla způsobit poruchu stroje, popřípadě další škody na nástrojích, obrobku a podobně. <sup>[4]</sup>

Kódování nástrojů nebo místa v zásobníku bývá prováděno různými způsoby, a to podle použitého kódovacího principu, kdy se kód snímá čtecím zařízením, které může být mechanické, elektrické, fotoelektrické nebo jiné. <sup>[4]</sup>  
V následující podkapitole jsou podrobně rozebrány jednotlivé typy kódování.

#### 6.1. Kódování pozice v zásobníku

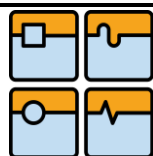
Kódování pozice v zásobníku je považováno za méně spolehlivé. Kód se nenachází na držáku nástroje, ale na nástrojové pozici v zásobníku. Nástroje se potom musí do zásobníku vkládat na pozice přesně určené programem a po použití se přesně tam opět vrátí. Vložením nesprávného nástroje na příslušnou pozici v zásobníku může lehce dojít až k havárii stroje. Proto je nutné použít kódování nástrojových pozicí vkládat v operačním sledu nástrojů. Každý nástroj má přiřazené určité místo v zásobníku, které je očíslované. Výběr nástrojů ze zásobníku probíhá potom tak, že na daný impuls se uvede zásobník do pohybu, přičemž jednotlivé kódy prochází čtecím zařízením, které vyšle impuls na zastavení pohybu zásobníku teprve tehdy, jak se přečte kód naprogramovaného nástroje. Po zastavení se zásobník ustaví do přesné polohy a až potom se vykoná samotná výměna nástroje. Tok nástrojů na jednom technologickém pracovišti, případně více, je možné sledovat pomocí počítače. V takovém případě nástroje nemusí být vybaveny kódem na držáku. <sup>[5]</sup>

#### 6.2. Kódování samotného nástroje

V dalším případě kódování je nositelem kódu samotný nástroj. Na držáku nástroje je umístěný kód určeného místa. Kód tedy zůstává na nástroji i tehdy, kdy nástroj není v zásobníku, a proto v tomto případě nezáleží na pořadí, v jakém nástroje do zásobníku vkládáme. Tím odpadá i možnost nechtěného zařazení či záměny nástrojů na jiné místo, než se očekává. <sup>[5]</sup>

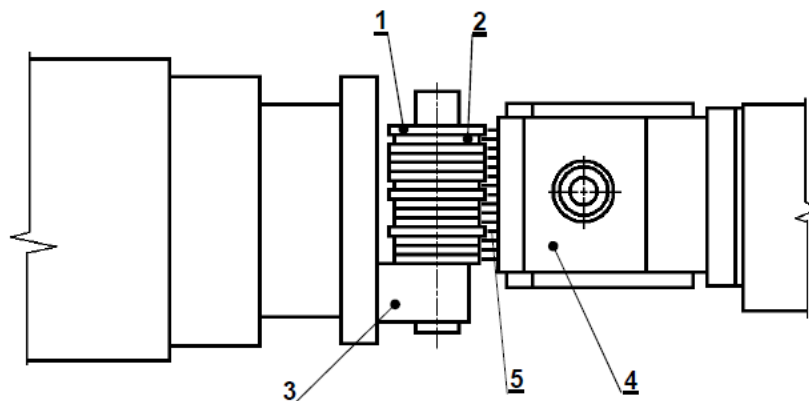
Tento typ kódování umožňuje i automatizovat výměnu nástrojů při změně typu obrobku. <sup>[5]</sup>

Na následujícím obrázku (obrázek 28) je schematicky znázorněný princip kódování pomocí 15 kroužků dvou různých vnějších průměrů **1** a **2**. Kódy se vytvoří různou kombinací jejich sestavení za sebou. Při přechodu nástrojového držáku **3** okolo čtecího zařízení **4** kroužky většího průměru zatlačí příslušné kontrakty **5**, které zapnou příslušné elektrické obvody, podle nichž pak řídicí systém identifikuje, o jaký nástroj jde. Na obrázku 29 je zobrazen pohled umístěných kódovaných kroužků na držáku s kuželovou stopkou. Je patrné, že válcová část na konci držáku je vůči

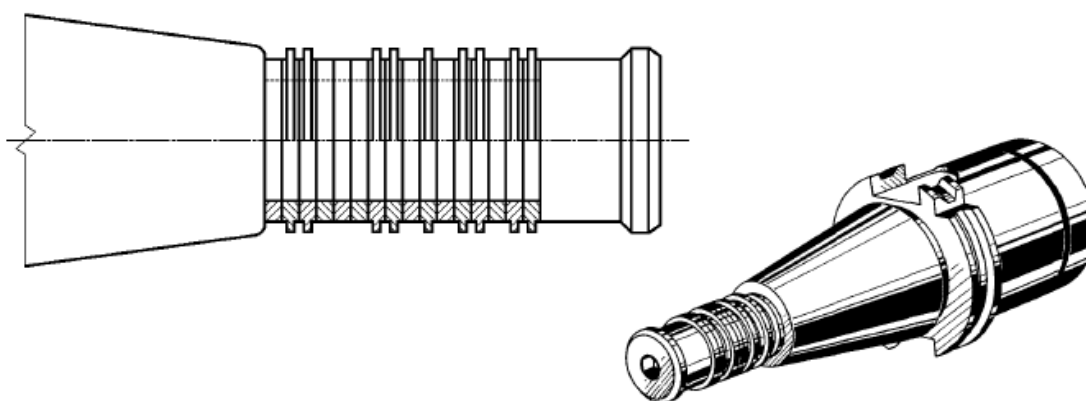


## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

původní konstrukci držáku s ISO kuželem prodloužena, čímž se vytvořil prostor pro umístění soustavy kroužků.<sup>[5]</sup>

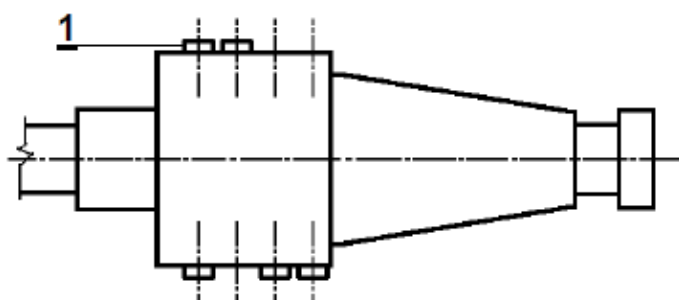


Obrázek 28 Kódování nástroje pomocí soustavy 15 kroužků [5]



Obrázek 29 Umístění kódovacích kroužků na držáku s kuželovou stopkou [5]

Nástroje mohou být kódovány pomocí soustavy šroubů **1** (obrázek 30), které se našroubují na příslušná místa nástrojového držáku. Základním principem je čtení kódu stejným způsobem jako u výše zmíněného případu. Kontakty čtecího zařízení jsou ovládány hlavami šroubů. Namísto šroubů mohou být využity permanentní magnety, avšak pouze v případě obrábění nemagnetických materiálů<sup>2</sup>. Kód nástroje se čte snímacím zařízením citlivým na přítomnost magnetického pole.<sup>[5]</sup>



Obrázek 30 Kódování nástroje pomocí soustavy šroubů [5]

<sup>2</sup> V opačném případě by magnety na stopku mohly přitahovat při manipulaci třísky z řezného procesu.



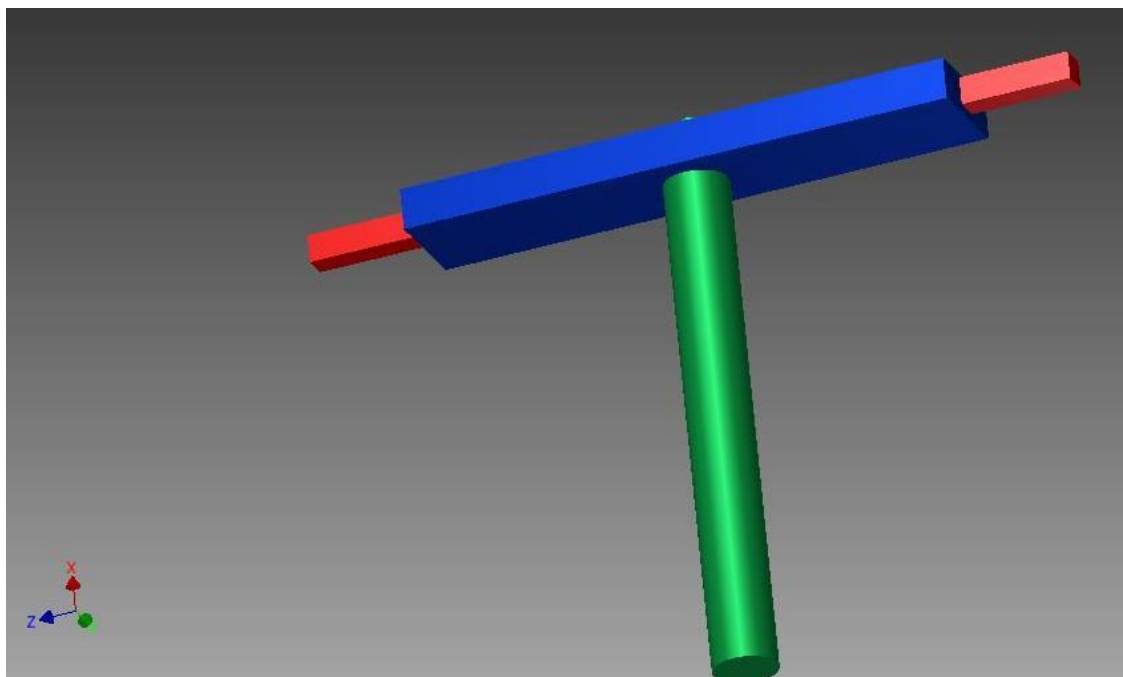
## 7. Návrh výpočtu

Následující kapitola bude věnována návrhu elektromotoru pro manipulátor systémů automatické výměny nástrojů. V podkapitolách budou rozebrány jednotlivé body, obsahující schéma substitučního modelu manipulátoru, dále zvolené hodnoty a samostatný výpočet, jehož výstupem bude zjištění krouticího momentu potřebného pro otáčení manipulátoru. Na základě výsledného krouticího momentu bude vypočten požadovaný výkon, kterým bude zvolený elektromotor muset disponovat.

Jedná se o předběžný výpočet, který vychází ze zjednodušených modelů manipulátoru a nožů, tudíž je tento výpočet určen především k předběžnému návrhu maximálního krouticího momentu.

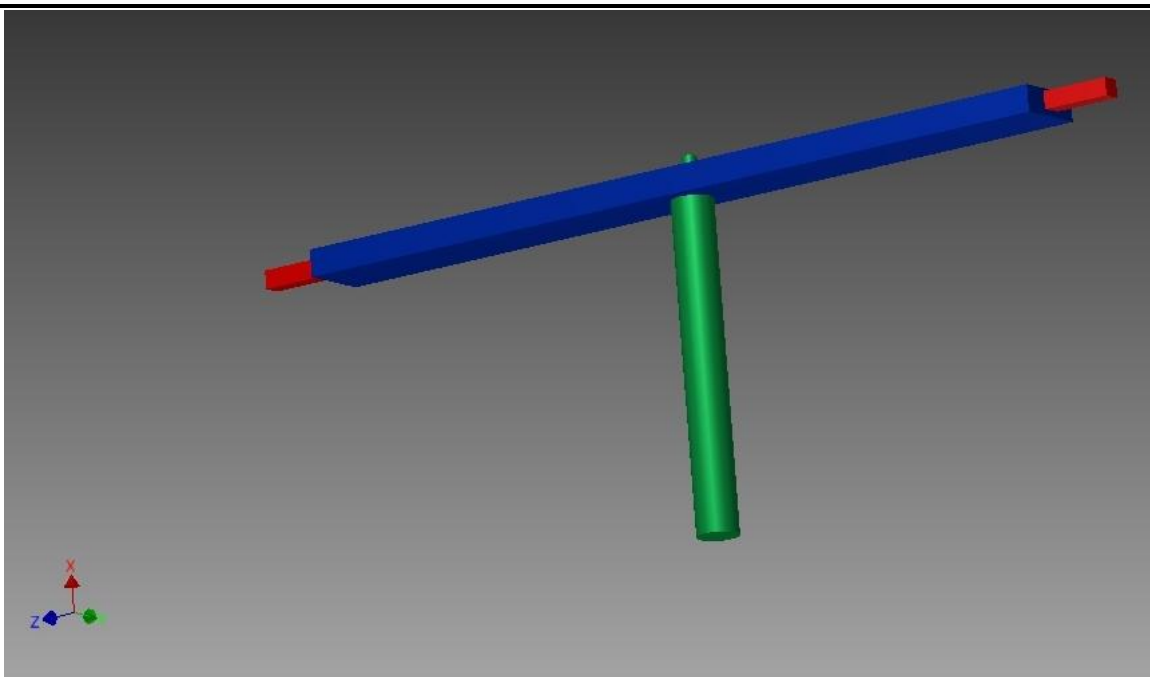
### 7.1. Substituční model

Úloha výpočtu je řešena pro dvě polohy manipulátoru. Na obrázku 31 je zobrazen zjednodušený model manipulátoru v poloze se zasunutými rameny, tedy v jeho základní poloze. V tomto stavu dosahuje délka ramene velikosti 600mm.



Obrázek 31 Model manipulátoru v základní poloze

Druhou polohou rozumíme stav manipulátoru při plném vysunutí ramen, který je zobrazen na obrázku 32. Hodnota maximálního vysunutí ramen byla zvolena 1400mm.



Obrázek 32 Model manipulátoru ve vysunuté poloze

## 7.2. Vstupní parametry

Následující hodnoty byly zvoleny na základě modelu manipulátoru, pro který je výpočet určen.

- |  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| • Hmotnost nože  | $m_N = 0.6\text{kg}$                 |
| • Hmotnost sloupu  | $m_S = 15\text{kg}$                  |
| • Hmotnost ramene  | $m_K = 18\text{kg}$                  |
| • Čas celkového otočení                                      | $t = 1.4\text{s}$                    |
| • Poloměr sloupu   | $R = 12.5\text{mm}$                  |
| • Velikost ramene v základní poloze (šířka x výška x délka)  | $60 \times 120 \times 600\text{mm}$  |
| • Velikost ramene ve vysunuté poloze (šířka x výška x délka) | $60 \times 120 \times 1400\text{mm}$ |
| • Velikost nože (šířka x výška x délka)                      | $30 \times 30 \times 120\text{mm}$   |

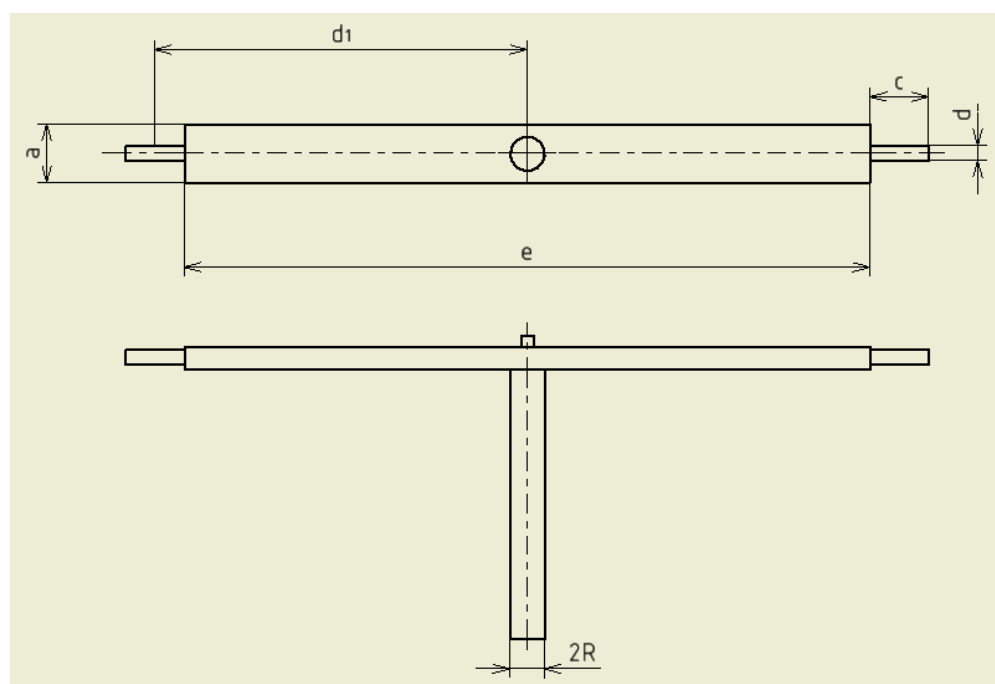
## 7.3. Výpočet

Výpočet se bude řadit do čtyř podkapitol, v nichž budou vypočteny klíčové veličiny, na základě kterých bude zvolen výsledný elektromotor.

### 7.3.1. Výpočet osových momentů setrvačnosti

Osový moment setrvačnosti bude vypočten pro obě varianty poloh tj. základní poloha manipulátoru a poloha manipulátoru při úplném vysunutí ramen pro jednotlivá základní tělesa. Jednotlivé osově momenty setrvačnosti jsou vypočítány k ose x, tj. podélná osa sloupu, za současného využití Steinerových vět.

### Základní poloha



Obrázek 33 Schéma manipulátoru v základní poloze

Výpočet osového momentu setrvačnosti sloupu (vyznačen zelenou barvou na obrázku 32).

$$I_{S_1} = \frac{1}{2} * m_S * R^2 = \frac{1}{2} * 15 * 25^2 = 4\,687.5 \text{ kg} * \text{mm}^2$$

Výpočet osového momentu setrvačnosti ramene (vyznačeno modrou barvou na obrázku 32).

$$I_{K_1} = m_K * \left( \frac{a^2 + e^2}{12} \right) = 18 * \left( \frac{120^2 + 600^2}{12} \right) = 780\,000 \text{ kg} * \text{mm}^2$$

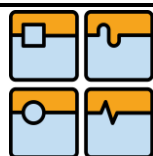
Výpočet osového momentu setrvačnosti nože za použití Steinerových vět (vyznačeno červenou barvou na obrázku 32).

$$I_{N_1} = \left( m_N * \left( \frac{c^2 + d^2}{12} \right) + m_N * d_1^2 \right) = \left( 0.6 * \left( \frac{120^2 + 30^2}{12} \right) + 0.6 * 360^2 \right) = 78\,525 \text{ kg} * \text{mm}^2$$

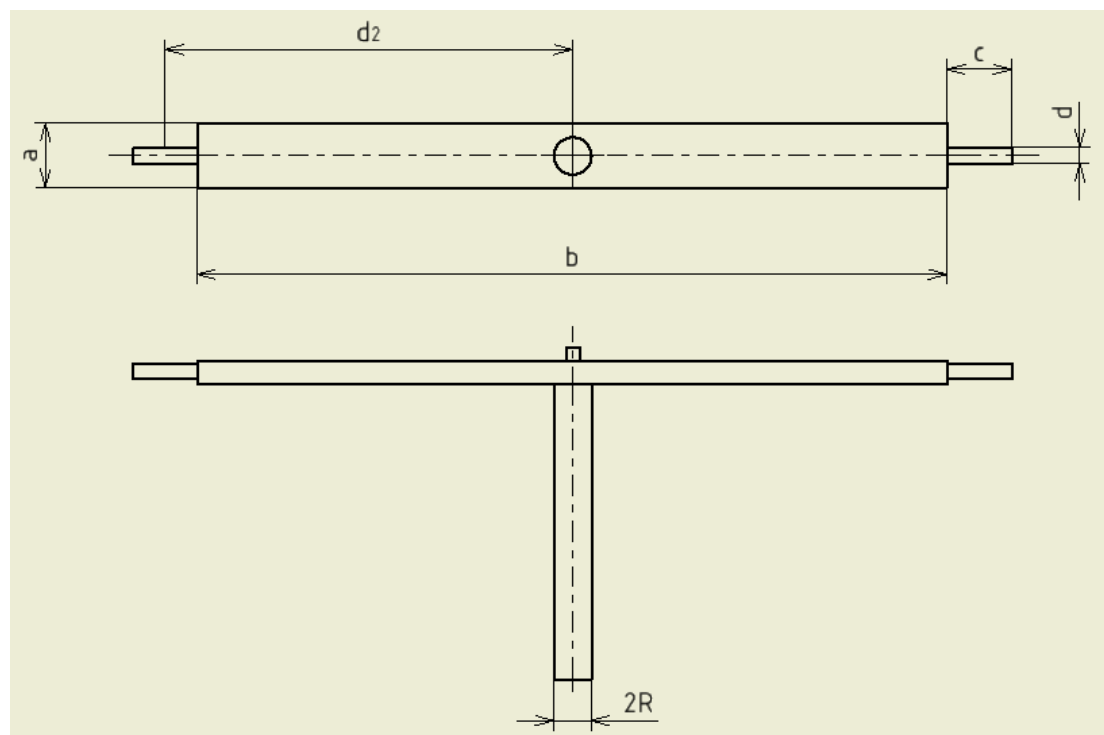
Výpočet celkového momentu setrvačnosti v poloze základní. V uvedeném vzorci počítáme dvakrát velikost osového momentu setrvačnosti pro nůž z důvodu přítomnosti dvojice nožů, se kterými má daný manipulátor operovat.

$$I_{C_1} = I_{S_1} + I_{K_1} + 2 * I_{N_1} = 4\,687.5 + 780\,000 + 2 * 78\,525 = 941\,737.5 \text{ kg} * \text{mm}^2$$





### Vysunutá poloha



Obrázek 34 Schéma manipulátoru ve vysunuté poloze

Výpočet osového momentu setrvačnosti sloupu (vyznačen zelenou barvou na obrázku 33).

$$I_{S_2} = \frac{1}{2} * m_S * R^2 = \frac{1}{2} * 15 * 25^2 = 4\,687.5 \text{ kg} * \text{mm}^2$$

Výpočet osového momentu setrvačnosti ramene (vyznačen modrou barvou na obrázku 33).

$$I_{K_2} = m_K * \left( \frac{a^2 + b^2}{12} \right) = 18 * \left( \frac{120^2 + 1400^2}{12} \right) = 59\,232\,000 \text{ kg} * \text{mm}^2$$

Výpočet osového momentu setrvačnosti nožů za použití Steinerových vět (vyznačeno červenou barvou na obrázku 33).

$$I_{N_2} = \left( m_N * \left( \frac{c^2 + d^2}{12} \right) + m_N * d_2^2 \right) = \left( 0.6 * \left( \frac{120^2 + 30^2}{12} \right) + 0.6 * 760^2 \right) = 347\,325 \text{ kg} * \text{mm}^2$$

Výpočet celkového momentu setrvačnosti v poloze úplného vysunutí ramen. V uvedeném vzorci počítáme dvakrát velikost osového momentu setrvačnosti pro nůž z důvodu přítomnosti dvojice nožů, se kterými má daný manipulátor operovat.

$$I_{c_2} = I_{S_2} + I_{K_2} + 2 * I_{N_2} = 4\,687.5 + 59\,232\,000 + 2 * 347\,325 = 59\,931\,337.5 \text{ kg} * \text{mm}^2$$

### 7.3.2. Výpočet úhlového zrychlení

#### Kinematické vzorce

Úhlová rychlost  $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$

Úhlové zrychlení  $\alpha = \frac{d\omega}{dt}$

Výpočet provedený níže se zabývá zjištěním úhlového zrychlení manipulátoru, jako výchozí čas byl zvolen  $t=1.4s$ . Uvedený čas charakterizuje otočení manipulátoru o celých  $180^\circ$ .

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

$$\alpha dt = d\omega$$

$$\int \alpha dt = \int d\omega$$

$$\int_{t_0}^t \alpha dt = \int_{\omega_0}^{\omega} d\omega \quad \text{Výpočet pouze kladného zrychlení } (\omega_0 = 0; t_0 = 0)$$

$$[\alpha t]_{t_0}^t = [\omega]_{\omega_0}^{\omega}$$

$$\alpha t = \omega$$

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$$

$$\omega dt = d\varphi$$

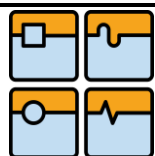
$$\int \omega dt = \int d\varphi$$

$$\int_{t_0}^t \alpha dt = \int_{\varphi_0}^{\varphi} d\varphi$$

$$\left[ \alpha \frac{t^2}{2} \right]_{t_0}^t = \left[ \varphi \right]_{\varphi_0}^{\varphi} \quad \left( \frac{\varphi}{2} = 90^\circ = \pi; \varphi_0 = 0; t_0 = 0 \right)$$

$$\alpha \frac{\left(\frac{t}{2}\right)^2}{2} = \frac{\varphi}{2}$$

$$\alpha = \frac{\varphi}{\left(\frac{t}{2}\right)^2} = \frac{2 \cdot \pi}{\left(\frac{1.4}{2}\right)^2} = 12.823 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$$



### 7.3.3. Výpočet úhlového rychlosti

Vzorec, který bude využit pro výpočet úhlové rychlosti vychází z výpočtu úhlového zrychlení. Pro výpočet maximální úhlové rychlosti uvažujeme čas poloviční z času celkového otočení z důvodu maximální hodnoty rychlosti, jež odpovídá 90° pootočení manipulátoru.

$$\omega_{\max} = \alpha \cdot t_2 = 12.823 \cdot 0.7 = 8.976 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

### 7.3.4. Výpočet kroutícího momentu

Pro výpočet kroutícího momentu je zvoleným parametrem celkový osový moment setrvačnosti pro model úplně vysunutý. Tento osový moment setrvačnosti je vybrán z důvodu jeho vyšší velikosti, aby výstupem tohoto výpočtu byl maximální kroutící moment, kterého soustava dosahuje.

$$M_k = I_{c_2} \cdot \alpha = 59.9313375 \cdot 12.823 = 768.5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

### 7.4. Návrh elektromotoru



Pro vhodný návrh elektromotoru je nutný výpočet pro výkon, kterým musí daný elektromotor disponovat. Jeho vstupními členy jsou kroutící moment a úhlová rychlost, které byly vypočteny v předchozích bodech.

$$P = M_k \cdot \omega_{\max} = 768.5 \cdot 8.976 = 6\,898.056 \text{ W} = 6.9 \text{ kW}$$

Na základě vypočteného výkonu bude zvolen asynchronní elektromotor třídy DMA2/HJA od firmy Regal Beloit.



Obrázek 35 Elektromotor Regal Beloit DMA2/HJA [13]

Výkony:	0,06 - 37 kW	
Osová výška:	56 - 200	
Počet pólů:	2 - 8	
Krytí:	IP 55	
Izolace třídy:	F	

Obrázek 36 Parametry elektromotoru Regal Beloit DMA2/HJA [13]

## Závěr

Cílem teoretické části této práce byla rešerše tematiky systémy automatické výměny nástrojů ve stavbě obráběcích center. Na základě rešerše jsem shrnul morfologii systémů automatické výměny nástrojů. Dále jsem provedl podrobné rozdělení a popis všech systémů, které jsou nedílnou součástí systémů AVN. Rešerše je zaměřena na komplexní pojetí systémů AVN tak, aby v ní byly obsaženy všechny informace důležité pro rozdělení, ale také pro pochopení funkčnosti jednotlivých druhů systémů. Vypracovaná rešerše může být plně využita pro návrh systémů AVN ve stavbě obráběcích center.

V praktické části byla řešena úloha předběžného návrhu elektromotoru pro model manipulátoru. Všechny modely a číselné hodnoty slouží pouze jako vstupní parametry, které nejsou pevně závislé na postupu výpočtu, je tedy možné je změnit. Vzhledem ke struktuře výpočtu, která měla za cíl vypracovat postup pro určení maximální hodnoty výkonu elektromotoru, byly zanedbány výpočty elektromotorů pro translační pohyb, z důvodu jejich předpokládaného nižšího zatížení, a tudíž nižšího potřebného výkonu, kterého by měly dosahovat. Provedený výpočet tedy zohledňuje elektromotor pro pohyb rotační, přičemž je zde předpokládáno jeho nejvyšší zatížení. Uvedený návrh slouží pouze pro základní hrubý výpočet, u kterého je vyžadováno zjištění maximálního výkonu, který soustava k požadovanému pohybu potřebuje a kterým musí vybraný elektromotor disponovat.

V současné době je automatická výměna nástrojů na velice vysoké úrovni a bude se neustále vyvíjet společně s vývojem nových technologií. Je patrné, že jsou zde faktory, které lze ještě zdokonalovat, jako jsou například minimalizace časů na výměnu nástrojů nebo maximalizace množství nástrojových míst. Ovšem větší možnosti zdokonalení můžeme nalézt ve zvyšování množství nástrojů, poněvadž čas výměny nástrojů je omezen z důvodu vysokých rychlostí manipulátoru, jež nachází svá omezení ve vysokém zatížení pohonných jednotek motorů a nebezpečí rázů v mechanismech. [5]

### Seznam použité literatury

- [1] *Automatická výměna nástrojů a obrobků* [online]. 2002 [cit. 2013-05-19]. Dostupný z WWW: <[http://technik.ihned.cz/c4-10004030-11353200-800000\\_d-automacka-vymena-nastroju-a-obrobku](http://technik.ihned.cz/c4-10004030-11353200-800000_d-automacka-vymena-nastroju-a-obrobku)>.
- [2] Borský, V.; *Obráběcí stroje*. VUT Brno 1992 1. vyd. 216 s. ISBN 80-214-0470-1
- [3] Borský, V.; *Základy stavby obráběcích strojů*. VUT Brno 1991 2. vyd. 214 s. ISBN 80-214-0361-6
- [4] Breník, P., Píč, J.; *Obráběcí stroje - konstrukce a výpočty, Technický průvodce 59*, SNTL Praha 1982 2. vyd. 573 s.
- [5] Demeč, P.; *Systémy automatickej výmeny nástrojov na číslicovo riadených strojích*. Študijný materiál vypracovaný v rámci riešenia grantového projektu KEGA 3/3064/05. TU v Košiciach 2005 34 s.
- [6] *Demmeler* [online]. 2012 [cit. 2013-05-19]. Dostupný z WWW: <[http://www.demmeler.cz/ke-stazeni/system\\_vymeny\\_nastroju.pdf](http://www.demmeler.cz/ke-stazeni/system_vymeny_nastroju.pdf)>
- [7] *Filak* [online]. 2012 [cit. 2013-05-19]. Dostupný z WWW: <<http://www.filak.cz/strojni-vyroba/soustruzeni-na-cnc-soustruhu>>
- [8] *Chiron* [online]. 2012 [cit. 2013-05-19]. Dostupný z WWW: <<http://www.chiron.de/home/machining-centres/high-speed-technologies/tool-changer/basket-tool-changer/?L=1>>
- [9] *Manipulátor pro automatickou výměnu nástrojů pochází z dílny vědců VUT* [online]. 2013 [cit. 2013-05-19]. Dostupný z WWW: <<http://vutt.cz/magazin/fakulta-strojního-inženýrství/item/260-manipulator-pro-automatickou-vymenu-nastroj%C5%AF>>
- [10] Marek, J.: *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Speciální vydání MM Průmyslové spektrum. MM publishing, 2006, ISSN 1212-2572.
- [11] *Nástroje Olomouc* [online]. 2012 [cit. 2013-05-19]. Dostupný z WWW: <[http://www.nastroje-o.cz/w\\_up/hsk-t.pdf](http://www.nastroje-o.cz/w_up/hsk-t.pdf)>
- [12] *Obráběcí stroje: Automatická výměna nástrojů* [online]. 2012 [cit. 2013-05-19]. Dostupný z WWW: <<http://www.prumysl.cz/obrabeci-stroje-automaticka-vymena-nastroju/>>
- [13] *Sigmat* [online]. 2012 [cit. 2013-05-19]. Dostupný z WWW: <<http://www.sigmat.cz/sortiment/elektromotory/asynchronni-elektromotory>>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Revolverová hlava soustružnicko-frézovacího centra Mori Seiki [12] .....	13
Obrázek 2 Morfologie automatické výměny nástrojů a její typy [10] .....	15
Obrázek 3 Výměník s řetězovým zásobníkem - osa 90° (Sigma) [10] .....	16
Obrázek 4 Výměník s kruhovým zásobníkem a sklopným lůžkem (Haas) [10] .....	16
Obrázek 5 Výměník Chiron (The basket tool changer) [8] .....	16
Obrázek 6 Zařízení pro automatickou výměnu nástrojů na CNC frézovacích strojích vyvinuté na FSI VUT Brno [9] .....	17
Obrázek 7 Základní varianty revolverových hlav [5] .....	19
Obrázek 8 Revolverová hlava pro upínání nástrojů [7] .....	20
Obrázek 9 Osmipolohová revolverová hlava s vícevřetenovými operačními hlavami [5] .....	21
Obrázek 10 Rozdělení systémů s výměnou jednotlivých nástrojů [4],[5] .....	22
Obrázek 11 Základní typy maloobjemových zásobníků [5] .....	23
Obrázek 12 Lineární aréna nástrojů [6] .....	23
Obrázek 13 Základní typy velkoobjemových zásobníků [5] .....	24
Obrázek 14 Princip činnosti systémů AVN zásobník-vřeteno [5] .....	25
Obrázek 15 Systém AVN zásobník-výměník-vřeteno [5] .....	26
Obrázek 16 Průběh manipulačního cyklu při výměně nástroje [5] .....	27
Obrázek 17 Princip Systému zásobník-manipulátor-výměník-vřeteno [5] .....	28
Obrázek 18 Systémy s výměnou celých vřeteníků s nástroji [5] .....	29
Obrázek 19 Systémy s výměnou vícevřetenových operačních hlav s nástroji [5] .....	29
Obrázek 20 Kombinovaný systém AVN s dvupolohovou revolverovou hlavou [5] ..	30
Obrázek 21 Kombinovaný systém AVN se čtyřpolohovou revolverovou hlavou [5] ..	31
Obrázek 22 Držák nástrojů s kuželovou stopkou ISO [5] .....	32
Obrázek 23 Upínání držáku s nástrojem ve vřetenu pomocí kuličkového mechanismu [5] .....	33
Obrázek 24 Upínání držáku s nástrojem pomocí kleštiny [5] .....	33
Obrázek 25 Držák vyvrtávacích nástrojů trojnásobný [11] .....	34
Obrázek 26 Nástrojový držák s kuželem HSK-T [11] .....	34
Obrázek 27 Držák s válcovou stopkou upnutý ve vřetenu [5] .....	35
Obrázek 28 Kódování nástroje pomocí soustavy 15 kroužků [5] .....	37
Obrázek 29 Umístění kódovacích kroužků na držáku s kuželovou stopkou [5] .....	37
Obrázek 30 Kódování nástroje pomocí soustavy šroubů [5] .....	37
Obrázek 31 Model manipulátoru v základní poloze .....	38
Obrázek 32 Model manipulátoru ve vysunuté poloze .....	39
Obrázek 33 Schéma manipulátoru v základní poloze .....	40
Obrázek 34 Schéma manipulátoru ve vysunuté poloze .....	41
Obrázek 35 Elektromotor Regal Beloit DMA2/HJA [13] .....	43
Obrázek 36 Parametry elektromotoru Regal Beloit DMA2/HJA [13] .....	43

### Seznam použitých zkratk a symbolů

<u>Symbol</u>	<u>Jednotky</u>	<u>Význam</u>
$a$	[mm]	Výška ramene
$b$	[mm]	Délka ramene ve vysunuté poloze
$c$	[mm]	Délka nože
$d_1$	[mm]	Vzdálenost od těžiště nože ke středu otáčení soustavy v základní poloze
$d_2$	[mm]	Vzdálenost od těžiště nože ke středu otáčení soustavy ve vysunuté poloze
$e$	[mm]	Délka ramene v základní poloze
$t_2$	[s]	Čas polovičního otočení
$t$	[s]	Čas celkového otočení
$R$	[mm]	Poloměr válce
$m_N$	[kg]	Hmotnost nože
$m_S$	[kg]	Hmotnost sloupu
$m_K$	[kg]	Hmotnost ramene
$I_{S_1}$	[kg * mm <sup>2</sup> ]	Osový moment setrvačnosti sloupu v soustavě v základní poloze
$I_{K_1}$	[kg * mm <sup>2</sup> ]	Osový moment setrvačnosti ramene v základní poloze
$I_{N_1}$	[kg * mm <sup>2</sup> ]	Osový moment setrvačnosti nože v soustavě v základní poloze
$I_{C_1}$	[kg * mm <sup>2</sup> ]	Celkový osový moment setrvačnosti soustavy v základní poloze
$I_{S_2}$	[kg * mm <sup>2</sup> ]	Osový moment setrvačnosti sloupu v soustavě ve vysunuté poloze
$I_{K_2}$	[kg * mm <sup>2</sup> ]	Osový moment setrvačnosti ramene ve vysunuté poloze



$I_{N_2}$	$[\text{kg} * \text{mm}^2]$	Osový moment setrvačnosti nože v soustavě ve vysunutě poloze
$I_{C_2}$	$[\text{kg} * \text{mm}^2]$	Celkový osový moment setrvačnosti soustavy ve vysunutě poloze
$\omega$	$[\text{rad} * \text{s}^{-1}]$	Úhlová rychlost
$\omega_{max}$	$[\text{rad} * \text{s}^{-1}]$	Maximální úhlová rychlost
$\alpha$	$[\text{rad} * \text{s}^{-2}]$	Úhlové zrychlení
$M_k$	$[\text{N} * \text{m}]$	Krouticí moment
P	$[\text{W}]$	Výkon